



**INDÚSTRIA 4.0 E ECONOMIA CIRCULAR:
UMA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E
SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA, COM
APLICAÇÃO NO SETOR DE ALIMENTOS E
BEBIDAS**

Gabriel Santos Pereira

Marina Godoy Dezonne Motta

Projeto de Final de Curso

Orientador

Prof. Clarice Campelo de Melo Ferraz

Janeiro de 2020

INDÚSTRIA 4.0 E ECONOMIA CIRCULAR: UMA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA, COM APLICAÇÃO NO SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS

Gabriel Santos Pereira
Marina Godoy Dezonne Motta

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof. Filipe Sombra dos Santos, D.Sc.

Prof. Marcelo Mendes Viana, D.Sc.

Cecília Elisabeth Barbosa Soares, D.Sc.

Orientado por:

Prof. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Janeiro de 2020

Ficha Cartográfica

Pereira, Gabriel Santos; Motta, Marina Godoy Dezone.

Indústria 4.0 e economia circular: uma transformação digital e sustentável na engenharia, com aplicação no setor de alimentos e bebidas / Gabriel Santos Pereira e Marina Godoy Dezone Motta. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2020.

viii, 81 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020.

Orientador: Clarice Campelo de Melo Ferraz

1. Indústria 4.0. 2. Economia Circular. 3. Engenharia. 4. Alimentos e Bebidas. 5. Projeto Final. (Graduação – UFRJ/EQ). 6. Clarice Campelo de Melo Ferraz. I. Título.

Dedicatória

Este trabalho é dedicado a todos que fizeram parte da nossa trajetória e que, de alguma forma, colaboraram para que nos tornássemos quem somos hoje.

Citação

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

(Gabriel Santos Pereira)

À Deus, meu maior exemplo, que me permitiu chegar até aqui e tem sido minha maior força, meu melhor amigo e meu alicerce em todos os momentos da vida.

À minha mãe, Maria da Conceição Pereira, por ser meu exemplo eterno de vida e de ser humano determinado, amoroso, persistente, carinhoso, atencioso, esforçado, inteligente e companheiro. A melhor mãe do mundo! Que me formou a pessoa que sou hoje.

A todos os meus amigos, que contribuíram de diversas formas para a formação do ser humano que sou hoje. Seja com conselhos; com risadas; com choros; com viagens; com dias, tarde, noites e madrugadas de estudos; com festas; com ansiedades e preocupações; com decisões difíceis; com compartilhamento de conhecimento; com muitos outros sentimentos e situações. Sozinhos não somos ninguém, mas com amigos somos tudo!

Às minhas filhas de quatro patas, July 1ª e July 2ª, que alegram todos os meus dias e sempre sabem me fazer sentir querido e amado, do modo mais puro, inocente e leal de todos.

Aos meus colegas de trabalho na PETROBRAS, que contribuíram da melhor forma para minha formação profissional. Agradeço muito a Deus por ter me dado a oportunidade de trabalhar com uma equipe fantástica, empenhada e de tamanha capacidade técnica, como são meus colegas da Engenharia Básica.

À minha dupla e amiga maravilhosa, Marina Godoy Dezone Motta, por embarcar comigo desde o início na ideia desse projeto. Já digo que valeu a pena todo o nosso esforço e empenho, pois, a meu ver, fizemos um trabalho excelente!

À nossa orientadora, Prof. Clarice Campelo de Melo Ferraz, pelo auxílio prestado na construção deste trabalho.

À banca avaliadora, pela aceitação do convite de contribuir de forma crítica e construtiva para a conclusão deste trabalho.

À Escola de Química da UFRJ e ao seu corpo docente, pela formação acadêmica de excelência que fornecem a seus alunos, mesmo enfrentando as dificuldades de uma instituição de educação pública no Brasil. A Universidade pública tem que ser de todos e para todos. A Universidade pública é, e sempre será, resistência!

Ao IFRJ e ao CEFET/RJ, minhas escolas técnicas do coração, que foram responsáveis por meus primeiros passos rumo à vida profissional. Agradeço a todos os professores dessas duas instituições, que têm a difícil tarefa de ensinar adolescentes a serem profissionais e responsáveis; além de uma nova profissão.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

(Marina Godoy Dezonne Mota)

Ao meu marido, João Maia, que é minha fonte de inspiração e energia, que me apoia integralmente e que oferece uma dose de esperança todos os dias ao acordar. Compartilhar uma vida com ele me faz ser uma pessoa melhor, mais dedicada e muito mais empenhada em devolver à sociedade um pouco dos privilégios que tenho.

Aos meus pais, Ellen e Luiz, que foram meu primeiro e maior exemplo de determinação, disciplina, esforço e desempenho, e não deixaram faltar absolutamente nada durante minha criação. São eles os responsáveis pela minha segurança e pela certeza que tenho que sempre estarei amparada.

À minha irmã, Tassia Godoy, e ao meu cunhado, Leonardo Bernardo, que juntos foram a expressão mais leve de amor e parceria que conheço, e muito admiro. Desde muito nova sou abençoada pela presença e carinho que recebo dos dois, fundamental na pessoa que me tornei (e venho me tornando).

Aos meus amigos, que mesmo a 450km de distância, apoiaram e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. A eles também credito grande parte de minha formação como profissional e como ser humano por compartilharem minhas vitórias, derrotas, angústias e incertezas. Conviver com as pessoas espetaculares que convivo é uma honra e uma fonte inesgotável de risadas, afeto, carinho, experiências e muito conhecimento. Não tenho receio algum ao afirmar que eles são parte única da minha família.

À minha bebê de quatro patas, Lyla, que surgiu em nossas vidas em um domingo de sol e desde então tem feito a nossa felicidade sua missão de vida!

À minha dupla, e parceiro incansável, Gabriel Santos, por todo o seu entusiasmo, apoio e dedicação não só na jornada que foi este projeto, mas também no incrível desafio que foi a faculdade. Não poderia ter dividido essa responsabilidade com uma pessoa melhor!

À nossa orientadora, Prof. Clarice Ferraz, pela atenção e carinho com todo o projeto.

À banca avaliadora, pela sua disposição e vontade de contribuir com nosso desenvolvimento.

Ao CEFETQ, hoje IFRJ, por construir em mim uma base sólida e diversa. Foi na escola técnica onde mais me desenvolvi como cidadã e dei meus primeiros passos na direção da profissional que almejo ser.

À vida, que sempre me presenteia com pessoas incríveis e fundamentais no meu caminho.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

INDÚSTRIA 4.0 E ECONOMIA CIRCULAR: UMA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA, COM APLICAÇÃO NO SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS

Gabriel Santos Pereira
Marina Godoy Dezonne Motta

Janeiro, 2020

Orientador: Prof. Clarice Campelo de Melo Ferraz

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional acarretaram um aumento contínuo na demanda por bens e serviços, que propiciam o consumo insustentável dos recursos naturais. Dessa forma, novas estratégias para o uso eficiente desses recursos surgem a cada dia, a fim de manter uma economia sustentável a longo prazo. Neste contexto, o presente estudo apresenta uma análise de duas correntes que permeiam o setor industrial e ganham destaque na resolução desses desafios, são elas: a Indústria 4.0 e a Economia Circular. A pesquisa realizada a baseia em uma revisão bibliográfica sobre os temas, e na confecção de um estudo de caso aplicado a uma indústria do setor de alimentos e bebidas, produtora de suco de laranja integral. Com o intuito de compreender se e como as práticas de digitalização e circularidade são coerentes quando aplicadas em conjunto, são apresentadas possíveis interferências no processo produtivo da Citrino (empresa produtora de suco de laranja), que envolvem a aplicação dessas duas correntes. Ao final, analisa-se qualitativamente se os impactos dessas interferências são harmônicos, e se elas levam o modelo de negócio da empresa a um patamar mais sustentável. No caso apresentado, as interferências não só podem ser aplicadas em conjunto, como é provável que elas se potencializem. No entanto, a convergência das correntes não é garantida, pois é fundamental que haja uma política corporativa forte no intuito de tornar a digitalização da indústria mais sustentável.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Economia Circular. Engenharia. Alimentos e Bebidas.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	01
I.1 – Motivação e justificativa	01
I.2 – Objetivo	04
 Capítulo II – Indústria 4.0	 05
II.1 – Indústria 4.0: a quarta revolução industrial	05
II.1.1 – Internet das Coisas (IoT)	06
II.1.2 – Sistemas <i>Cyber</i> -Físicos (CPS)	07
II.1.3 – Inteligência Artificial (IA)	08
II.1.4 – Manufatura Aditiva (MA)	09
II.1.5 – Biologia Sintética (SynBio)	11
II.1.6 – Realidade Aumentada (RA)	12
II.2 – Impactos da Indústria 4.0	13
II.3 – A Era da Assistência	15
II.4 – O panorama industrial brasileiro e a Indústria 4.0	18
II.5 – Inovação Aberta: O caminho para a Indústria 4.0?	28
II.6 – A Nova Dinâmica Econômica: Uma possibilidade para uma sociedade melhor?	31
 Capítulo III – Economia Circular	 34
III.1 – Origem do termo	34
III.2 – Princípios e bases da Economia Circular	35
III.3 – Análise de Ciclo de Vida	38
 Capítulo IV – Economia Circular e Indústria 4.0	 41
 Capítulo V – Estudo de caso aplicado ao setor de Alimentos e Bebidas	 44
V.1 – Objeto de estudo: Indústria de suco de laranja integral	44

V.2 – Panorama mercadológico	45
V.3 – Cadeia produtiva citrícola e produção do suco de laranja integral	50
V.4 – Propostas para implementação da Indústria 4.0	55
V.4.1 – Controle e monitoramento digital da safra	56
V.4.2 – Automatização de atividades rurais	58
V.4.3 – Sensores inteligentes para controle de processo industrial com foco na etapa de Envase	60
V.4.4 – <i>Big data analysis</i> no planejamento da produção	62
V.5 – Propostas para implementação da Economia circular	63
V.5.1 – Produção de óleo essencial	64
V.5.2 – Produção de ração animal	66
V.5.3 – Produção de energia	70
V.6 – Integração da cadeia de produtiva	71
V.7 – Conclusão	73
 Capítulo VI – Considerações Finais	 74
 Referências Bibliográficas	 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1	CPPS x CPS e suas ferramentas	08
Figura II.2	Princípios do processo de Manufatura Aditiva de única etapa e de múltiplas etapas	10
Figura II.3	Posição do Brasil no ranking global de competitividade	19
Figura II.4	Barreiras externas que dificultam a adoção de tecnologias digitais	20
Figura II.5	Participação do Brasil nas exportações mundiais de produtos manufaturados	21
Figura II.6	Índice global de inovação (2017)	22
Figura II.7	Barreiras internas que dificultam a adoção de tecnologias digitais	23
Figura II.8	Taxa de inovação nacional de produto e/ou processo	24
Figura III.1	Diagrama do sistema de Economia Circular	35
Figura III.2	Economia Linear vs Economia Circular	36
Figura V.1	Média das cinco safras entre 2012 e 2016	46
Figura V.2	Linha do tempo do projeto “<i>Fruit Juice Matters</i>”	48
Figura V.3	Área destinada a colheita de laranja	49
Figura V.4	Produção de laranja e exportação de suco de laranja (mil ton.)	49
Figura V.5	Processo de produção do suco de laranja integral da Citrino	54
Figura V.6	Infográfico: tecnologias digitais e os indicadores circulares	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II.1	Tecnologias digitais	24
Tabela II.2	Benefícios esperados ao adotar tecnologias digitais	27
Tabela V.1	Consumo e demanda por suco de laranja entre 2003 e 2016	47
Tabela V.2	Produção de laranja e exportação de suco de laranja (mil ton.)	50
Tabela V.3	Estimativa populacional das cidades paulistas	53
Tabela V.4	Preços de pateleira dos principais concorrentes da Citrino	53
Tabela V.5	Composição química da polpa de citrus <i>in natura</i> , peletizada e da silagem da polpa, expressa em % de matéria seca (MS), segundo alguns autores	66

Capítulo I

Introdução

I.1 – Motivação e justificativa

O desenvolvimento econômico e o crescimento populacional acarretaram em um aumento contínuo na demanda por bens e serviços e no consumo insustentável dos recursos naturais. Dessa forma, novas estratégias para o uso eficiente desses recursos surgem a cada dia, a fim de manter uma economia sustentável a longo prazo.

A matriz energética mundial é composta, principalmente, por fontes não-renováveis, como: carvão, petróleo e gás natural; sendo que sua parcela renovável gira em torno de apenas 14%. No Brasil, entretanto, a parcela renovável chega a, aproximadamente, 43%, estando acima da média mundial, tendo como destaque o setor elétrico, que possui uma matriz renovável de cerca de 80% (EPE, 2016). Essa característica brasileira dá uma vantagem política para o país no que diz respeito ao desenvolvimento econômico sustentável, sendo um desafio para o setor industrial nacional contribuir para a manutenção ou ampliação do patamar energético renovável, por meio de consumo consciente e sustentável de energia.

Diante de tal desafio, não só brasileiro, mas principalmente global, empresas e governos vêm investindo em novos modelos de negócio que reduzam a linearidade das cadeias de produção e foquem em uma economia mais cíclica, reaproveitando produtos e materiais e redesenhando processos produtivos, esperando-se uma redução no consumo e desperdício de matéria-prima e de utilidades industriais, como água e energia; gerando assim ganhos ambientais e econômicos.

O caminho da Economia Circular, como se converteu o desenvolvimento de maior circularidade nos processos produtivos, também é visto, além do ponto de vista sustentável, como oportunidade de negócios capaz de contribuir para o aumento da competitividade a longo prazo, sem colocar em risco as gerações futuras.

Paralelamente a isso, o avanço tecnológico do meio industrial tem se mostrado cada vez mais proeminente com o passar dos anos. Situações antigamente consideradas utópicas passaram a ser viáveis e/ou possivelmente alcançáveis nos tempos atuais, como por exemplo, o acompanhamento do cliente na customização e logística de entrega de um

produto a partir de seu *smartphone*, ou a projeção em realidade aumentada de ambientes industriais para estudos de ampliação e/ou segurança das plantas.

A relação entre homem e máquina também está cada dia mais estreita, gerando novas formas de pensamento, relacionamento, trabalho, comunicação, desenvolvimento social e industrial. A então intitulada *Indústria 4.0* representaria uma nova revolução industrial ¹, considerada a quarta da história.

A aplicação dos principais avanços tecnológicos aos processos industriais colabora para a contínua evolução desse setor, que está em constante adaptação às inovações que surgem. A busca recorrente pelo aumento de eficiência produtiva, associada à diminuição do descarte de resíduos e ao aumento da segurança nos processos industriais e na prevenção de perdas, abre um leque de possibilidades a serem exploradas por essa nova revolução tecnológica, na qual a automatização de processos, o gerenciamento de dados em alto desempenho, a computação em nuvem, a biotecnologia e a manufatura aditiva ganham inúmeras aplicações.

Nesse contexto, o setor de alimentos e bebidas ainda possui uma baixa intensidade tecnológica em seus processos de produção (CNI, 2016), apresentando porém, grande potencial de desenvolvimento; haja vista a força que o Brasil possui na área agrícola. Para tanto, as recentes políticas de investimento no setor “agro” abrem espaço para a renovação tecnológica das indústrias desse meio.

Pequenos, médios e grandes produtores compartilham dos mesmos objetivos no setor alimentício, que é o de produzir alimentos e bebidas de alta qualidade, dentro da legislação sanitária e de segurança alimentar, mantendo a viabilidade econômica do negócio e valorizando a marca. Além disso, a preocupação com a sustentabilidade dos processos também tem se tornado bastante presente, visto que o gasto com as utilidades

¹ *Revolução industrial* foi a transição para novos processos de fabricação, que ocorreu nos séculos XVIII e XIX. Esta transformação incluiu a transição de métodos de produção artesanais para a produção por máquinas, a fabricação de novos produtos químicos, novos processos de produção de ferro, maior eficiência da energia da água, o uso crescente da energia a vapor e o desenvolvimento das máquinas-ferramentas, além da substituição da madeira e de outros biocombustíveis pelo carvão. A primeira revolução teve início na Inglaterra e, em poucas décadas, se espalhou para a Europa Ocidental e os Estados Unidos, caracterizando a segunda etapa, na qual o emprego do aço, a utilização da energia elétrica e dos combustíveis derivados do petróleo foram as principais inovações desse período. Alguns historiadores consideram ainda os avanços tecnológicos do século XX e XXI como a terceira etapa da Revolução Industrial. O computador, o fax, a engenharia genética, o celular seriam algumas das inovações dessa época.

industriais – principalmente energia e água – contribuem significativamente para os custos de produção. Dessa forma, existe uma busca constante do setor por metodologias mais eficientes, fazendo com que recursos sejam regularmente destinados a procura por processos mais limpos e seguros.

Por se tratar de um mercado tipicamente *B2C*²(*Business to Consumer*), o setor de alimentos tem uma inerente necessidade de agilidade, ganho e flexibilidade na produção, redução dos custos e do tempo de manutenção e melhoria na rastreabilidade de produtos. Tais demandas são dificilmente alcançadas sem inovação e tecnologia. Por ser um setor bastante maduro e com baixa barreira de entrada para novos *players*, a manutenção dos diferenciais competitivos é vital para as empresas desse ramo.

Aliada a essa realidade, encontra-se a intensificação da discussão em torno do desperdício de alimentos. Atualmente, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, sigla em inglês para *Food and Agricultural Organization for the United Nations*), cerca de um terço dos alimentos produzidos globalmente é desperdiçado em alguma etapa da cadeia produtiva até o consumidor final, somando aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas por ano. Ainda de acordo com relatórios anuais da FAO (2018), os alimentos e bebidas configuram a maior categoria de bens de consumo não duráveis, com mais de 8,3 bilhões de alimentos vendidos durante o ano de 2017. Desse modo, considerando a alimentação uma das necessidades mais fundamentais do ser humano, o combate ao desperdício torna-se um pilar para essa indústria (Rosendo, 2018).

Segundo Eriksson, et al. (2017), dentre as diversas ações de mitigação que podem ser tomadas frente ao desperdício, a prevenção deste mostra-se a medida mais eficaz, principalmente na etapa de processamento. Diante disso, investimentos em inovação associados à aplicação de novas ferramentas tecnológicas acompanhadas de medidas de redução de desperdícios e valorização de resíduos, não só alavancam a competitividade das indústrias, como também ajudam a garantir sua sustentabilidade, tanto econômica quanto social e ambiental.

² Sigla em inglês para *Business to Consumer*, em tradução livre “Mercado para Consumidor”. É uma tipologia para negócios que produzem e/ou vendem diretamente para seu consumidor final.

I.2 – Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo a análise dos impactos da prática da Indústria 4.0 e da Economia Circular nos processos industriais. Mais especificamente, na indústria de alimentos e bebidas. Busca-se avaliar, por meio de pesquisa bibliográfica, se tais conceitos caminham de forma convergente em suas correntes teóricas de melhoria de eficiência; seja através da automatização de processos, ou por meio da redução e reaproveitamento de resíduos e diminuição no consumo de utilidades. Para uma melhor análise, ao final, será feito um estudo de caso do processo produtivo da Citrino, empresa produtora de suco de laranja integral, no qual serão apresentadas propostas de adequação ao ambiente 4.0 aliado à lógica de ganho em sustentabilidade, proposta pela Economia Circular, a fim de qualificar o caráter convergente ou não dessas aplicações.

Capítulo II

Indústria 4.0

Por volta de 1750, a primeira revolução industrial deu início à mecanização da produção a partir do uso do vapor gerado pela queima do carvão. A segunda revolução, ocorrida aproximadamente cem anos depois, elevou o patamar das indústrias para a produção em massa, com a popularização da energia elétrica. Já na década de 1950, iniciou-se a terceira transformação, denominada “revolução digital”, abrindo espaço para a automatização das linhas de produção, fazendo com que o *modus operandi* fabril passasse por significativas alterações, devido a inserção de ferramentas mais ágeis que o operador braçal. Finalmente, o termo *quarta revolução industrial* surgiu para descrever o avançado e inovador desenvolvimento tecnológico experimentado nos últimos anos e, principalmente, as futuras transformações que virão a ocorrer nos mais diversos setores da economia (Sung, 2017).

Em suas origens acadêmicas, a Indústria 4.0 e a quarta revolução industrial são termos que contextualizavam diferentes transformações, sendo o primeiro referente às inovações tecnológicas com foco na indústria e o último abrangendo o impacto dessas transformações na sociedade, no governo, e até mesmo na identificação humana. Genericamente, ambos os conceitos têm sido utilizados permutavelmente entre si por muitos autores, já que seus papéis e valores são essencialmente os mesmos (Sung, 2017). Dessa forma, para a tratativa do presente trabalho, a Indústria 4.0 será encarada como a quarta revolução industrial.

II.1 - Indústria 4.0: a quarta revolução industrial

A quarta revolução industrial teve início nas primeiras décadas do século XXI, baseando-se principalmente na transformação digital (COFECON, 2016). É caracterizada inicialmente por um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico, tendo como principais ferramentas a manufatura aditiva (MA), a inteligência artificial (IA), a internet das coisas (IoT), a realidade aumentada (RA), a biologia sintética (SynBio) e os sistemas cyber-físicos (CPS) (MDIC, 2019).

O termo *Indústria 4.0* foi concebido originalmente pelo governo alemão, através de um projeto altamente tecnológico que promovia a informatização nas indústrias locais. Seu desenvolvimento foi tão impactante na época que, atualmente, a Indústria 4.0 é

considerada o maior distúrbio na manufatura moderna (Schwab, 2016). Sua essência abrange quatro aspectos disruptivos principais (Sung, 2017):

1. O aumento exponencial da coleta e uso de dados;
2. O aparecimento de novos recursos analíticos focados em negócios;
3. A criação de novas formas de conexão entre homem e máquina;
4. A criação de canais mais fluidos de informação entre o mundo físico e o digital.

Tais aspectos só se tornaram viáveis graças a possibilidade de aplicação de ferramentas de apoio e aprimoramento tecnológico, como computação em nuvem, *machine learnig*, realidade aumentada, entre outras, das quais as principais serão abordadas com mais detalhe nos tópicos seguintes.

II.1.1 – Internet das Coisas (IoT)

A *Internet das Coisas* (IoT) é um conceito formulado em 1999, pelo empreendedor britânico e pioneiro da tecnologia Kevin Ashton, e se refere a interconectividade entre as “coisas”, como o próprio termo sugere, englobando dispositivos eletrônicos, *smarphones*, máquinas e meios de transporte. Essa comunicação ocorre através de uma codificação exclusiva, permitindo que essas “coisas” interajam a fim de alcançar um objetivo comum pré-determinado.

A *Internet Industrial das Coisas* (IIoT), conceito relacionado mais diretamente com a automação dos processos industriais, é a integração das tecnologias de IoT aplicadas à produção industrial, resultando na conexão digitalizada de toda a cadeia produtiva da indústria. Na Alemanha, esse conceito também é mesclado ao da Indústria 4.0, sendo ambos considerados a maior mudança de perspectiva do setor (Kagermann et al., 2013; Lasi et al., 2014).

A IIoT é formada pela conexão em tempo real, efetiva, inteligente, horizontal e vertical entre pessoas, máquinas, objetos, informações e sistemas de comunicação para, dinamicamente, gerenciarem sistemas mais complexos (Bauer et al, 2014). A partir de atributos, como: *cyber analysis*, manufatura aditiva, robótica, computação de alto desempenho, processamento de linguagem neural, realidade aumentada, inteligência artificial e tecnologias cognitivas, a IIoT visa lidar com os principais desafios que os

fabricantes estão enfrentando atualmente, como por exemplo, a crescente volatilidade e complexidade dos mercados.

II.1.2 – Sistemas *Cyber*-Físicos (CPS)

De acordo com Rajkumar et al. (2010), os chamados *Sistemas Cyber-Físicos*, do inglês *Cyber Physical System* (CPS), são sistemas físicos cuja operação é monitorada, coordenada, controlada e integrada por um sistema de comunicação, processamento e armazenamento computacional central.

Eles são normalmente formados por sensores, unidades de processamento de dados, medidores, acionadores, atuadores, entre outros componentes, responsáveis por integrar processos físicos e computacionais por meio da coleta, transmissão, processamento e análise de informações (STHEL, 2018). Sua utilização é diversificada, podendo ser aplicados em áreas como: indústria aeroespacial (no desenvolvimento dos sistemas inteligentes de aeronaves), indústria automobilística (na produção de carros inteligentes), área médica (em aparelhos de exames hospitalares), sistemas robotizados, sistemas de defesa, controle de processos industriais, controle ambiental, espaços inteligentes, entre outros (RAJKUMAR et al., 2010).

Os CPS constituem o núcleo tecnológico da IIoT, sendo os responsáveis pela fusão entre o mundo físico e o virtual, permitindo a transferência de dados em tempo real (Lee et al., 2015). Dessa forma, as interações homem-homem, homem-objeto e objeto-objeto são habilitadas juntamente com toda a cadeia produtiva atual (WAN, 2011), visto que, segundo Chunyang Yu et al. (2015), os CPS são capazes de atuar tanto na integração vertical e horizontal de sistemas, quanto na cadeia de valor dos produtos, promovendo um aumento na flexibilidade da produção e na adaptação de processos através da atuação da engenharia.

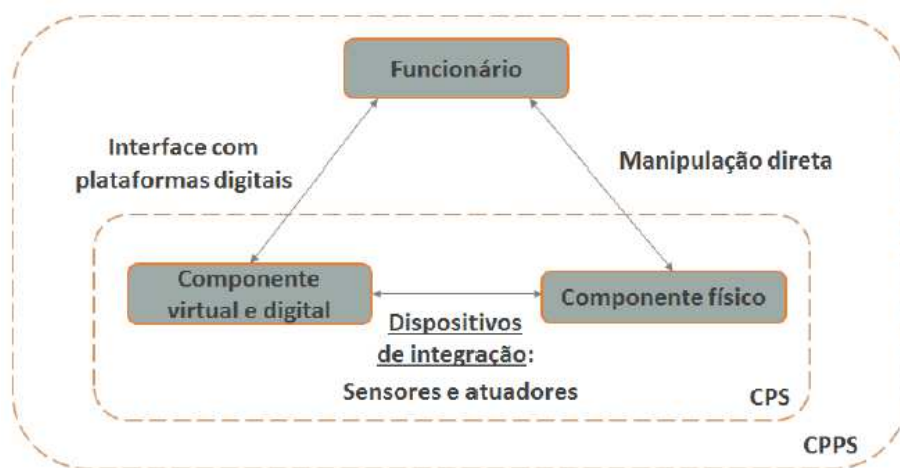
Nesses sistemas, o fluxo de informação ocorre através de uma série iterativa de três etapas, conhecidas como sistema físico-digital-físico (PDP). Elas combinam materiais físicos e ambientes digitais, proporcionando uma experiência integrada e abrangente de visualização de dados e plataformas interativas, correlacionando as tecnologias.

Ao ser aplicado à atividade industrial propriamente dita, os CPS passam a ser denominados CPPS (*Cyber Physical Production System*), por estarem mais ligados à

produção. Nesse contexto, além de envolver a conexão entre o meio físico e o digital, os CPPS abrangem também os funcionários da fábrica, promovendo um aumento na produtividade (agilizando tarefas e reduzindo perdas) e um maior controle de qualidade do produto acabado (STHEL, 2018).

Nesse cenário, os funcionários são a principal interface com as plataformas digitais formadoras dos CPS e também estão em contato direto com o componente físico que está ligado ao sistema virtual por meio de dispositivos de integração. A figura II.1 ilustra o conjunto de abrangência que diferencia o CPS dos CPPS, mostrando, de maneira mais clara, seu contexto de atuação.

Figura II.1 – CPPS x CPS e suas ferramentas



Fonte: STHEL, 2018

II.1.3 – Inteligência Artificial (IA)

A *Inteligência Artificial* (IA), diferente das demais ferramentas tecnológicas que apoiam a Indústria 4.0, é considerada como um *campo de conhecimento* capaz de prover modelos e *frameworks*³ de apoio à tomada de decisão. Baseando-se em fatos reais e conhecimentos prévios, teóricos e empíricos, a IA consegue solucionar problemas mesmo quando apoiada em dados incompletos. Nesta linha, a IA é considerada como a habilidade humana de alcançar objetivos, através de um conjunto de decisões, porém realizada por máquinas, através da ciência e da engenharia (McCarthy, 2007).

³ *Framework* é a denominação para um conjunto de conceitos usados a fim de resolver um problema específico dentro de um domínio.

Na indústria, o primeiro modelo comercial bem-sucedido chamava-se R1 e foi lançado em 1986 pela *Digital Equipment Corporation (DEC)*. Ele auxiliava na configuração dos pedidos de novos sistemas da empresa e contribuiu com o faturamento de cerca de 40 milhões de dólares naquele primeiro ano. Dois anos depois, o departamento de IA da *DEC* já era composto por 40 outros sistemas inteligentes e com diversos projetos em andamento (Charniak & McDermott, 1985). Na mesma época, a multinacional *Du Pont* alcançava 100 sistemas inteligentes prontos e outros 500 em processo de desenvolvimento, divulgando uma economia de 10 milhões de dólares por ano devido ao uso de IA. Na década de 1990, aproximadamente todos os conglomerados norte-americanos já dispunham de um grupo próprio de IA (Gomes, 2010).

Atualmente, as ferramentas de *Redes Neurais* (modelos computacionais baseados no sistema nervoso central humano, capazes de aprender e reconhecer padrões) e os conceitos de *Machine Learning* (aprendizado de máquinas) fazem com que a fronteira de aplicação das IAs seja expandida constantemente.

II.1.4 – Manufatura Aditiva (MA)

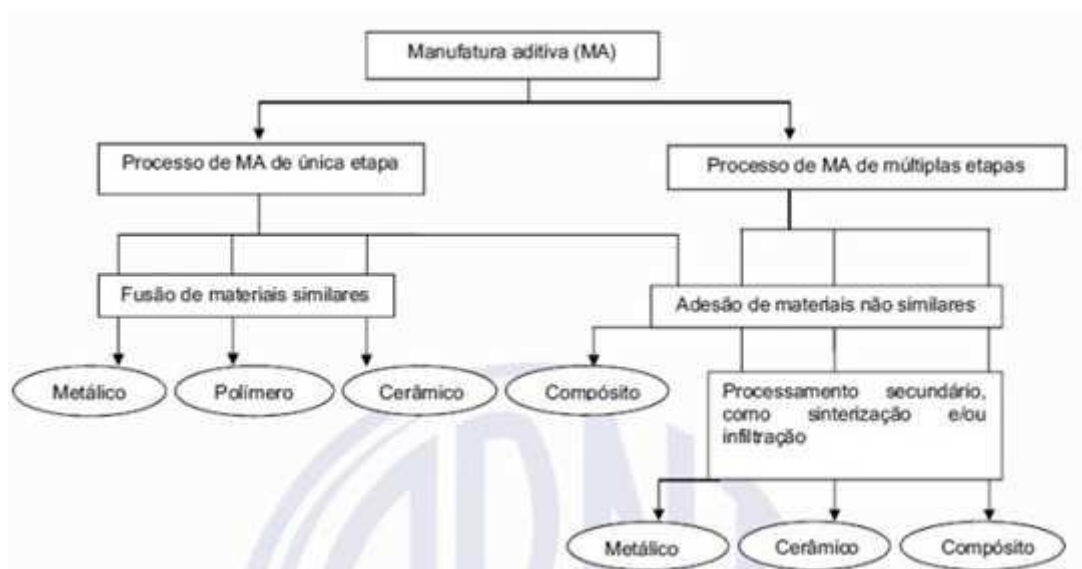
A *Manufatura Aditiva (MA)* é uma tecnologia existente há pelo menos três décadas, sendo popularmente identificada como *Impressão 3D* (FILHO, 2019). Entretanto, existem diversos tipos de manufatura aditiva, o que inclui a técnica de impressão 3D e outras, como a *prototipagem rápida* e a *manufatura digital direta (DDM)*. (FILHO, 2019)

A manufatura aditiva pode ser caracterizada como o emprego de máquinas capazes de fabricar objetos por meio da adição sucessiva de materiais específicos, partindo de modelos tridimensionais, construídos utilizando sistemas computacionais CAD⁴. A depender do processo, as peças (ou objetos) podem adquirir a geometria básica e as propriedades fundamentais do material pretendido em uma única etapa (processo de etapa única), ou obter a geometria em uma etapa primária e posteriormente adquirir as propriedades fundamentais do material pretendido em uma etapa secundária (processo de

⁴ CAD/CAM; significa projeto assistido por computador e fabricação assistida por computador, respectivamente, ou *computer-aided design* e *computer-aided manufacturing*, em inglês. Os softwares CAD/CAM são usados para projetar e fabricar protótipos, produtos acabados e os processos de produção. Um sistema CAD/CAM integrado oferece uma solução completa, do projeto à manufatura. (Autodesk, 2019)

múltiplas etapas). A Figura II.2, retirada da norma ABNT, ilustra bem tais características. (FILHO, 2019)

Figura II.2 – Princípios do processo de Manufatura Aditiva de única etapa e de múltiplas etapas



Fonte: FILHO, 2019

Ainda de acordo com Filho (2019), a moldagem de materiais em objetos, dentro de um processo de fabricação, pode ser conseguida por um, ou pela combinação de três princípios básicos:

- *Moldagem formativa:* a forma desejada é adquirida por aplicação de pressão a um corpo de matéria-prima. Exemplos: forjamento, dobramento, fundição, moldagem por injeção, compactação de corpos verdes em metalurgia do pó convencional ou processamento cerâmico, etc.
- *Moldagem subtrativa:* a forma desejada é adquirida pela remoção seletiva de material, exemplos: fresamento, torneamento, furação, eletroerosão (electrical discharge machining – EDM), etc.
- *Moldagem aditiva:* a forma desejada é adquirida pela adição sucessiva de material.

Basicamente, para o processamento por manufatura aditiva, as propriedades fundamentais dos produtos são determinadas pelo tipo de material empregado (polímero, metal, cerâmica ou compósito), pelo princípio aplicado para fusão ou ligação (fusão, cura, sinterização, etc.), pela matéria-prima que é usada para adicionar material (líquido, pó,

suspensão, filamento, folha, etc.) e como o material é reunido, ou seja, arquitetura e processo do equipamento (FILHO, 2019).

Esse conceito de produção via *adição de material* vem em oposição aos métodos de fabricação usuais baseados na retirada de material, como é o exemplo da usinagem, encontrados em praticamente todas as indústrias (Rodrigues, Zancul, Mançanares, Giordano, & Salerno, 2017).

O sucesso oriundo das aplicações da manufatura aditiva juntamente com o avanço das tecnologias digitais da Indústria 4.0 fizeram com que, no início da década de 2010, as atenções midiáticas se voltassem para a transformação dos meios produtivos que estavam por vir, baseados em tais ferramentas (Rodrigues, Zancul, Mançanares, Giordano, & Salerno, 2017). Veículos de informação respeitados internacionalmente, como o *The Economist* ⁵, ressaltavam a chegada de uma nova revolução industrial, principalmente pelo fato de que essas novas tecnologias não se baseavam em Economia de Escala ⁶ e, portanto, não possuíam escala mínima para alavancar a produção; algo impensado até então. Além disso, nessa mesma época, a transformação do mercado de bens de consumo já era pauta no cenário econômico e, com o passar do tempo, se tornou cada vez mais comum a utilização da MA na indústria.

Estudos realizados sobre mudanças no *modus operante* ⁷ da manufatura, como em Hopkinson e Dickens (2003), concordam que a principal barreira à popularização da manufatura aditiva está no alto custo de investimento dos equipamentos, além da manutenção e material utilizado. Entretanto, era consenso também que a crescente adoção desta tecnologia resultaria em equipamentos mais baratos e mais avançados (Giordano, Zancul, & Rodrigues, 2016).

II.1.5 – Biologia Sintética (SynBio)

Em 2010, cientistas do instituto norte-americano *J. Craig Venter Institute* realizaram o feito de criar o primeiro organismo vivo controlado por um genoma sintético,

⁵ O *The Economist* é uma publicação inglesa, fundada em 1843, considerada um dos jornais mais renomados entre as pautas liberais.

⁶ Existe *Economia de Escala* quando a expansão da capacidade de produção de uma firma ou indústria causa um aumento dos custos totais de produção menor que, proporcionalmente, os do produto. Como resultado, os custos médios de produção caem, a longo prazo. (Bannock et al, 1977)

⁷ *Modus operante* é uma expressão em latim comumente utilizada para designar uma maneira de agir que segue procedimentos conhecidos.

o *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0. Desde então, a tecnologia denominada *Biologia Sintética* (SynBio) ganhou a atenção de cientistas e ambientalistas. Caracterizada como o “próximo limite da biociência” pelos acadêmicos da época, a SynBio tem como principal objetivo a transformações de organismos naturais em sintéticos, a fim de realizarem as funções predefinidas (Silva & Paulillo, 2015).

Por mais que o primeiro laboratório licenciado em SynBio tenha começado suas atividades em 2003, foi apenas três anos depois que a tecnologia deixou de ser vista apenas como uma inovação informal no campo da biologia de sistemas, sem realizações muito concretas, e passou ao *status* de engenharia genética, com o adendo de ser digital e padronizada, assim como as demais tecnologias oriundas da quarta revolução industrial.

Atualmente, a SynBio já está presente em vários campos de estudo, se destacando com aplicações bastante inovadoras. É possível encontrar exemplos na engenharia metabólica, a partir da produção de novas drogas sintéticas, no combate a infecções, no tratamento de câncer, no desenvolvimento de novas vacinas, entre outros.

Na indústria, a Biologia Sintética também tem contribuído para o aumento da eficiência e da sustentabilidade dos negócios. Por exemplo, o desenvolvimento de um combustível regenerativo que utiliza eletricidade para decompor o hidrogênio, a expansão dos biocombustíveis de segunda geração, novos aditivos agrícolas capazes de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, a produção em larga escala de compostos e produtos químicos, entre outras aplicações nos setores tecnológicos e farmacêuticos, que são considerados realizações atribuídas a essa tecnologia (Silva & Paulillo, 2015).

II.1.6 – Realidade Aumentada (RA)

A *Realidade Aumentada* (RA) surgiu com o objetivo de mesclar o mundo virtual com o mundo real, a fim de torná-los praticamente indistinguíveis, tendo a capacidade de sobrepor, em uma mesma interface, objetos digitais e reais (Cuperschmid, Martins, & Ruschel, 2011). Em outras palavras, a RA oferece a possibilidade de inserção de objetos virtuais no ambiente físico experimentado pelo usuário em tempo real. Com o auxílio de equipamentos específicos, esse usuário pode visualizar e até manipular os objetos sobrepostos, fazendo com que o observador possa analisar e interferir diretamente no ambiente virtual de forma integrada ao ambiente real.

Assim como a manufatura aditiva, a RA também vem sendo estudada há algumas décadas, porém ganhou destaque somente em tempos atuais. Com a emergência das demais tecnologias da Indústria 4.0, a RA tornou-se bastante interessante às indústrias devido às inúmeras aplicações possíveis dentro de uma unidade fabril, destacando sua utilização em projetos de ampliação de plantas industriais, realocação de equipamentos e tubulações, simulação de ambientes operacionais para treinamentos de segurança e estudos de construtibilidade, dentre outros usos. A multidisciplinaridade inerente à RA faz com que sua atual aplicação ultrapasse a computação gráfica e seja capaz de reduzir riscos de acidente em ambientes que até então eram pouco controlados (Deloitte, 2017).

II.2 – Impactos da Indústria 4.0

Na visão do engenheiro e economista alemão Klaus Martin Schwab, fundador do Fórum Econômico Mundial de Davos, a visão da Indústria 4.0 permite imaginar “*as possibilidades ilimitadas de bilhões de pessoas conectadas por dispositivos móveis, dando origem a um poder de processamento, recursos de armazenamento e acesso ao conhecimento sem precedentes*”. Com a chegada dessa quarta revolução, são esperados impactos significativos sobre a produtividade, a redução de custos, o controle sobre o processo produtivo, a customização da produção, a segurança dos processos e da informação, a economia de energia, dentre outros aspectos, que transformarão profundamente as plantas fabris, dando origem às popularmente chamadas Fábricas Inteligentes (ABDI, 2019).

Segundo Olivier Scalabre, membro do *Boston Consulting Group*⁸, esses impactos farão com que as economias maduras voltem a trazer sua indústria para um âmbito mais regional, uma vez que o custo da complexa logística atual de produção e distribuição será bastante superior ao da produção local, após o avanço da Indústria 4.0. Dessa forma, a transformação não ocorrerá apenas das fábricas para dentro, mas sim em toda a estrutura econômica e social dos locais onde se dará suas instalações.

Em adição a isso, além da mudança de papel dos engenheiros atuantes na indústria, toda a comunidade precisará capacitar indivíduos para o novo ambiente de trabalho, no

⁸ *Boston Consulting Group* (BCG) é uma empresa de consultoria empresarial com sede nos Estados Unidos e filiais no mundo todo, inclusive no Brasil.

qual o pensamento crítico, a visão criativa e a capacidade intelectual humana serão mais explorados do que o trabalho mecânico e braçal (Fórum Econômico Mundial, 2018).

De acordo com o relatório sobre o terceiro trimestre de 2019 do Fundo Monetário Internacional (FMI), o mundo computará o menor crescimento da história em 2019, desde a Grande Recessão ⁹. Segundo o mesmo relatório, um dos fatores de maior contribuição para a estagnação da economia global é o revés industrial sofrido por diversos países nos últimos anos, mas principalmente em 2019.

Em termos de perspectiva sociais e de trabalho, para a implementação da quarta revolução, exige-se do mercado uma maior pluralidade de mão-de-obra e, ao mesmo tempo, nota-se uma relativa redução da necessidade do diploma de nível superior para o desempenho de determinadas funções. Isso pode ser notado pelo fato de que empresas multinacionais como *Google* e *IBM* já não solicitam mais a formação acadêmica como pré-requisito para contratação e, inclusive no Brasil, empresas que trabalham no setor de recursos humanos, especificamente com processos seletivos para grandes multinacionais, como por exemplo a Cia de Talentos, já realizam suas seleções de candidatos completamente “às cegas”, a fim de retirar qualquer viés pré-concebido que possa existir entre o recrutador e o recrutado; incluindo sua formação acadêmica. Nesse contexto, ainda segundo o Fórum Econômico Mundial (2018), é importante que a nova mão-de-obra seja diversa, criativa, flexível, adaptável, academicamente atualizada com a realidade do mercado e familiarizada com a digitalização e suas novas ferramentas.

Em uma série de relatórios da consultora *Delloit* sobre a Indústria 4.0, denominados “*Forces of Change: Industry 4.0*” (em tradução livre, Forças de Mudança: Indústria 4.0), elaborados para líderes empresariais acostumados a informações e comunicações lineares, aborda que a mudança para o acesso a dados de inteligência em tempo real, proporcionado pelo ambiente 4.0, transformaria fundamentalmente a forma de condução dos negócios. Ao aperfeiçoar a coleta e o tratamento de dados que auxiliam nas tomadas de decisão de uma empresa, abre-se uma porta para novos modelos de

⁹ A *Grande Recessão* foi um período de declínio econômico geral observado nos mercados mundiais no final dos anos 2000 e início dos anos 2010, variando a escala de país para país. O Fundo Monetário Internacional (FMI) concluiu que este foi o colapso econômico e financeiro mais grave desde a Grande Depressão dos anos 1930 e é frequentemente considerado como a segunda pior crise econômica de todos os tempos.

negócios antes não considerados. Metodologias de trabalho tradicionalmente utilizadas, como a política restrita de inovação de uma empresa, podem ser revistas e modernizadas.

Por fim, além de impactos nos processos produtivos, nas relações de trabalho e na formação da mão-de-obra, benefícios ecológicos e sociais também são previstos, uma vez que o valor desses recursos naturais já é compreendido como de grande relevância por aqueles que almejam uma economia mais madura. Exemplos antigos de implementação de tecnologias na indústria já resultam em redução do consumo de energia e água, redução da geração de resíduos e surgimento de ambientes de trabalho mais adaptativos (Kagermann et al., 2013; Lasi et al., 2014).

A expectativa é a de que, com a chegada da Indústria 4.0, tais mudanças sejam intensificadas, criando ambientes de trabalho mais colaborativos, integrados e eficientes, aliados a processos mais automatizados, menos poluidores e mais seguros. Tudo isso apoiado em uma sociedade mais qualificada e mais relevante como mão-de-obra para a economia.

II.3 – A Era da Assistência

O termo *Era da Assistência*, difundido pelo presidente da empresa Google Américas¹⁰, em 2018 em sua convenção anual, define a nova tendência das empresas em atender não só às necessidades básicas do consumidor, mas também em oferecer serviços e produtos que ativamente facilitem proativamente suas vidas de alguma maneira. Essa nova dinâmica foi alcançada graças à transformação digital, trazida com a chegada da Indústria 4.0, que possibilitou a obtenção de uma ampla e completa base de dados sobre os diferentes perfis dos consumidores, trazendo também as ferramentas necessárias para analisá-las. A utilização da Inteligência Artificial, nesse sentido, mostra-se crucial para a realização de previsões de comportamentos e interesses dos consumidores, auxiliando as empresas a melhorar continuamente seus serviços e adapta-los às reais necessidades de seus clientes (Google, 2018).

Em artigos sobre o tema “Educação 4.0”, como em Benešová & Tupa (2017), Puncreobutr (2016), entre outros, além dessa mudança presente no setor de serviços, o meio educacional (escolas e universidades) também precisará sofrer mudanças culturais

¹⁰ Unidade de negócio do Google responsável pelas Américas

semelhantes, nas quais a educação pode deixar de agregar valor apenas pela simples passagem do conteúdo programático.

Em algumas escolas já é notável um foco maior na assistência prestada ao aluno do que na passagem do conteúdo em si. A subjetividade dos alunos entra em voga, juntamente com suas necessidades e características de aprendizagem. Paulo Freire, em 1917, já criticava o que chamava de “Educação Bancária”, onde professor é apenas o detentor do conhecimento e o aluno deve apenas receber passivamente essa educação. Os artigos sobre “Educação 4.0”, como os situados acima, compartilham dessa visão, enfatizando que os professores precisam estabelecer conexões necessárias com os alunos para que ocorra o aprendizado “libertador”. Além disso, a Indústria 4.0, como já declarado, requer uma aplicação do conteúdo em tarefas compatíveis com as reais demandas do mercado.

Segundo o relatório “*Excelência com equidade no Ensino Médio*”, elaborado por Fundação Leman et. al (2019), fatores como empatia dos docentes, diminuição da hierarquia acadêmica e ensino focado em competências - contra a atual metodologia de ensino baseada apenas na divisão do conteúdo acadêmico em disciplinas - são comuns às escolas de ensino médio mais bem ranqueadas do Brasil – segundo os parâmetros pré-definidos pela Fundação Leman – sendo também aplicadas em alguns centros de educação de ensino superior privados.

Conforme discutido no Fórum Econômico Mundial, na edição de 2018, a forma como é trabalhado o ensino atualmente, os estudantes não estarão suficientemente preparados para as futuras demandas do mercado, nem completamente dotados das competências requeridas para o desempenho de atividades que virão a surgir com a chegada da Indústria 4.0. O relatório lançado sobre o nome “Empregos do Futuro – 2018 a 2022” (2018), o FEM expõe essas preocupações.

Em conformidade com esse novo cenário, instituições ligadas ao desenvolvimento da indústria, como a Confederação Nacional da Indústria (CNI), também já publicaram estudos e relatórios sobre o cenário educacional brasileiro frente às novas necessidades econômicas. De acordo com suas recomendações para o fortalecimento e modernização do ensino de engenharia no Brasil, o presidente da CNI, Robson Braga de Andrade, deixa a seguinte declaração:

O contexto atual requer uma formação que privilegie, por exemplo, o domínio de competências ligadas ao desenvolvimento e gestão de projetos, além de habilidades como empreendedorismo, liderança, criatividade, facilidade de trabalho em equipes multidisciplinares e capacidade de aprendizado autônomo. (CNI, 2018)

Além de valorizar o papel do professor e de dinamizar o aprendizado do aluno, esse novo tipo de formação evitaria o cenário pouco promissor, no qual candidatos com formação de certa forma ultrapassada, procuram entrar no ambiente 4.0, porém sem êxito. Ou seja, um cenário de revolução tecnológica acompanhado de escassez de mão-de-obra qualificada atualizada, levando ao desemprego em massa e ao aumento da desigualdade social (Fórum Econômico Mundial, 2018). Por isso, é fundamental que as instituições educacionais tenham um papel ativo no apoio à futura força de trabalho, não só através do remodelamento das competências ensinadas, mas também da capacitação do indivíduo, para que ele possa ter uma abordagem pró-ativa e autônoma da sua própria aprendizagem ao longo da vida.

Com isso, ainda nas palavras do presidente da CNI, é necessária uma *engenharia inovadora* e geradora de ideias, para permitir o avanço das indústrias. Essa visão fica clara em sua declaração descrita abaixo:

Inovação se faz com ideias. Por isso, dispor de mão-de-obra qualificada é primordial para atender os desafios do mercado e as demandas das indústrias instaladas no país. A necessidade da manufatura avançada de conectar máquinas, pessoas e sistemas faz crescer a procura por profissionais altamente qualificados, sobretudo por engenheiros. (CNI, 2018)

Essa autonomia do indivíduo/aluno, também amplamente citada no relatório conduzido pela Fundação Lemman (2019), é peça chave para o entendimento do mercado de trabalho em um ambiente permeado pela Indústria 4.0. Os empregos que a princípio deixarão de existir, devido ao avanço da tecnologia, na verdade serão substituídos por outros, ainda em vias de surgimento (Fórum Econômico Mundial, 2017). Dessa forma, é extremamente importante que o profissional do futuro tenha a capacidade e autonomia de se reeducar para poder adaptar-se às novas possibilidades de carreira que surgirão.

De acordo com Rafael Lucchesi, diretor-geral do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), dados do Fórum Econômico Mundial mostram que 75 milhões de empregos serão extinguidos nos próximos anos, porém outros 133 milhões serão criados. Todavia, é preciso agir no meio educacional para aproveitar as

transformações que estão em curso, afim de garantir o lugar do Brasil e de sua mão-de-obra no futuro (CNI, 2019).

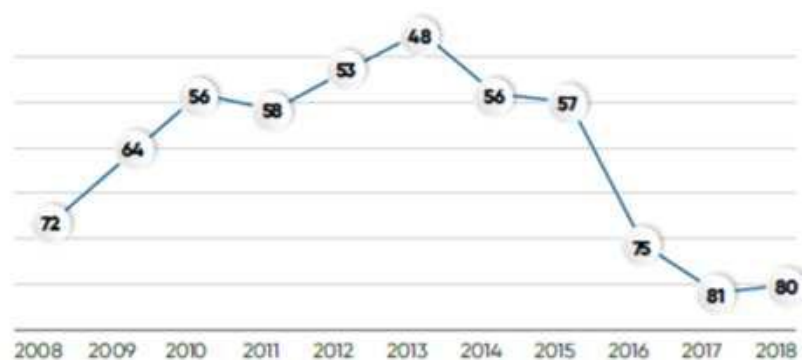
Em relação aos cursos que diretamente impactam o setor industrial, mais mudanças são esperadas. Para estarem de acordo com o sistema educacional 4.0, as Universidades, por exemplo, precisarão desenvolver profissionais capazes de: obter conhecimentos e habilidades para o desenvolvimento de sistemas Cyber-físicos; saber lidar com a lógica da Internet das Coisas (IoT) conectada à Internet de Pessoas (IoP) e à computação em nuvem; serem alfabetizados digitalmente, aprendendo novas linguagens de programação; tomar decisões baseadas em fatos e em análise de dados em tempo real, por meio de *Data Science* e *Data Analysis*; resolver problemas em curto prazo com estratégias inovadoras e, muitas vezes, empreendedoras; descentralizar a tomada de decisão, criando um ambiente mais colaborativo; desenvolver e intensificar o trabalho em equipes multidisciplinares; entre outros aspectos (Aberšek1 e Flogie, 2018).

Essas mudanças permitem a exploração completa do potencial da Indústria 4.0 e sua capacidade de agregar valor às empresas e à economia do país. É através dessas novas habilidades profissionais que as corporações poderão considerar a importância e o papel do bem mais valioso da quarta revolução industrial: a circulação da informação.

II.4 – O panorama industrial brasileiro e a Indústria 4.0

O Brasil vem sucessivamente caindo posições no ranking global de competitividade do Fórum Econômico Mundial (FEM). Depois de alcançar seu auge em 2013, tomando a 48ª posição, rapidamente declinou e chegou ao seu pior desempenho em 2017. O 80º lugar compromete não só seu crescimento econômico, reduzindo a geração de emprego e de renda, como também sua capacidade de investimento e atualização da indústria brasileira. A Figura II.3 mostra a posição do Brasil no cenário mundial de competitividade.

Figura II.3 – Posição do Brasil no ranking global de competitividade



Fonte: The Global Competitiveness Report 2017-2018 (WEF)

Dentro da análise da competitividade, um dos fatores de maior peso é a produtividade. Contudo, segundo a CNI (2018), nos últimos dez anos o Brasil apresentou a pior evolução histórica comparado aos seus principais parceiros comerciais (EUA e Argentina). Em 2017, ainda segundo a CNI (2018), a produtividade do trabalho na indústria brasileira cresceu apenas 5,5% enquanto Estados Unidos e Argentina desempenharam um aumento de 16,2% e 11,2% respectivamente. Tal estagnação resulta não apenas em uma perda de competitividade no mercado internacional, mas também em seu mercado interno, ao não ser capaz de fazer com que a produção nacional se equipare às importações, no que tange a qualidade, inovação e o preço das mercadorias.

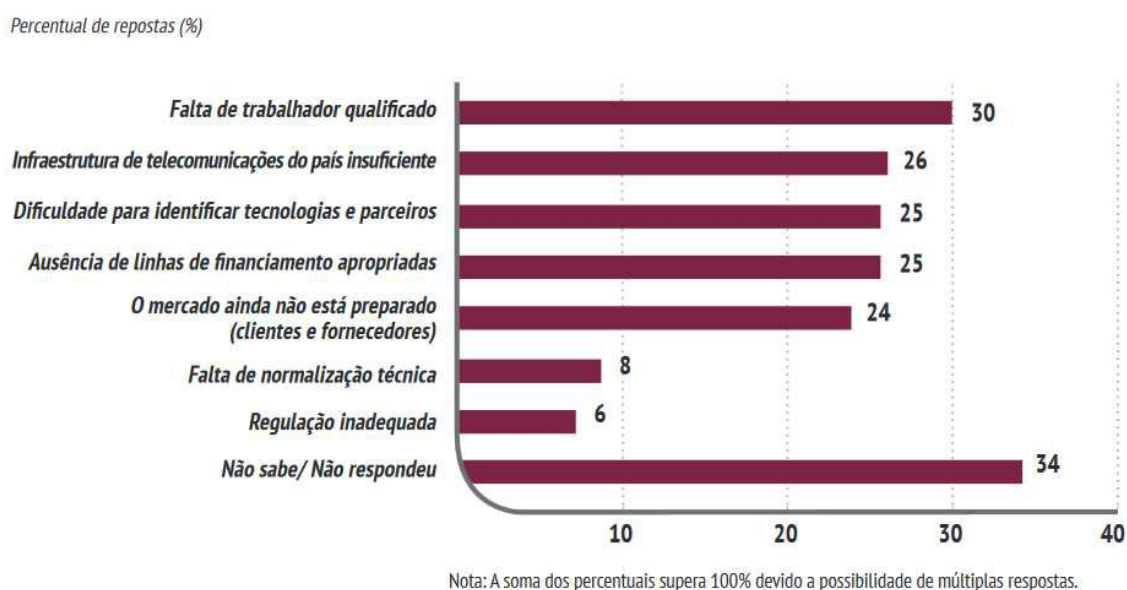
Para que o Brasil seja capaz de se reestruturar e de se tornar competitivo, de forma consistente, é fundamental que o país avance em duas frentes distintas. Uma trata da correção de problemas antigos que vêm se tornando grandes gargalos para a produtividade industrial, como a qualidade da educação brasileira, a precária infraestrutura e o complexo e embarreirado sistema tributário. A outra envolve os desafios emergentes para a construção da indústria do futuro (CNI, 2016).

Com relação aos problemas que se tornaram gargalos da produtividade nacional, fica evidente a disparidade entre o Brasil e os demais países em desenvolvimento no mundo. Nosso país aparece em 18º e último lugar no ranking sobre a eficiência do Estado dentro da competitividade industrial (CNI, 2017) e em último também em uma comparação da qualidade educacional básica entre os países pertencentes a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), com base nos resultados do

Programa Internacional de Avaliação de Estudantes¹¹ (PISA, sigla em inglês). Se o Brasil pretende galgar uma posição competitiva globalmente, é fundamental tornar sua indústria mais dinâmica e com maior capacidade de inovação. Isso se dará por meio do desenvolvimento de sua mão-de-obra, modernização de sua infraestrutura logística e fortalecimento de suas relações econômicas internacionais (CNI, 2018).

A Figura II.4, retirada da pesquisa da CNI (2016), destaca as dificuldades encontradas pelas empresas consultadas em adotar tecnologias digitais em fábricas brasileiras; aparecendo, em primeiro lugar, a falta de trabalhador qualificado.

Figura II.4 – Barreiras externas que dificultam a adoção de tecnologias digitais



Fonte: CNI, 2016

Em conformidade com o encolhimento da indústria brasileira frente ao mercado global, está a significativa redução de sua participação nas exportações de produtos manufaturados, como mostra a Figura II.5. Entre 2005 e 2015, sua representatividade passou de 0,82% para 0,58%. Por outro lado, é notável o aumento da importância do Brasil no cenário agrícola, chegando em 2016 como o 3º maior exportador do mundo (Organização das Nações Unidas para Agricultura FAO, 2016). No entanto, voláteis cenários políticos e ambientais fazem com que essa posição seja incerta caso o país esteja

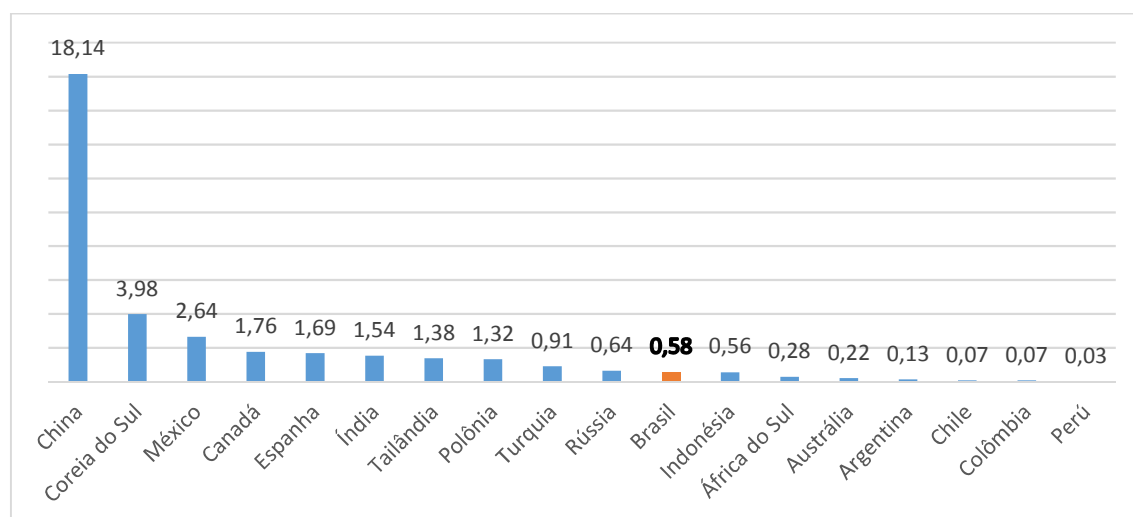
¹¹ O Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa), ou Programme for International Student Assessment, é uma iniciativa de avaliação comparada, aplicada de forma amostral a estudantes matriculados a partir do 7º ano do ensino fundamental na faixa etária dos 15 anos, idade em que se pressupõe o término da escolaridade básica obrigatória na maioria dos países (INEP, 2019).

desconectado com as tendências globais e, principalmente, caso as mudanças climáticas de médio prazo afetem a produção brasileira (FAO, 2016).

Ainda segundo a FAO as mudanças climáticas vão afetar a agricultura global de forma desigual, melhorando as condições de produção em alguns locais e piorando a de outros. Com isso, torna-se ainda mais imperativo que o Brasil acompanhe as convergências internacionais em prol de uma economia neutra, ou até mesmo negativa, em carbono.

Figura II.5 – Participação do Brasil nas exportações mundiais de produtos manufaturados

Dados percentuais (%)



Fonte: Adaptado de CNI, com base em dados da OMC, 2018.

Como alternativa para uma economia nacional mais forte e competitiva, está a integração da indústria brasileira aos mercados internacionais. Para isso, é necessária a conexão do Brasil com as grandes transformações e tendências industriais já difundidas pelo mundo, como a incorporação da Indústria 4.0 nos processos produtivos, a intensificação das atividades de inovação e o crescimento de iniciativas menos poluentes (CNI, 2018).

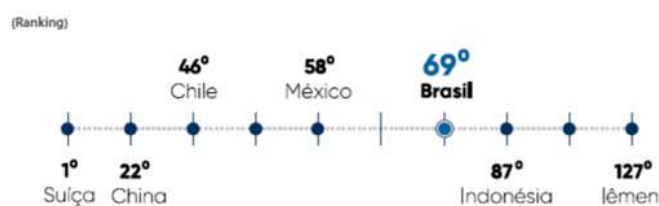
Para isso, é preciso trazer a inovação como motor dos ganhos de produtividade a longo prazo. Uma vez ultrapassadas as barreiras estruturais supracitadas, apenas com uma base sólida para inovação, não só focada nos produtos e processos produtivos, mas também destinada à cultura das empresas e aos modelos de negócio, a economia pode

crescer indefinidamente e ser capaz de atravessar as barreiras que eventualmente surgirão (CNI, 2018).

Com isso, torna-se necessário a criação de um ambiente regulatório seguro e estimulante à inovação industrial, visto que, somente as empresas que investem em PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) estão sujeitas aos riscos e custos dessa nova jornada, tornando ainda mais arriscada a decisão corporativa de investir em ideias e ações inovadoras. Em contrapartida, linhas de crédito facilitadas e sistemas governamentais de apoio tecnológico são exemplos de ações que podem auxiliar no processo de inovação das empresas, segundo a CNI.

A Figura II.6, abaixo, mostra a posição do Brasil no ranking internacional de inovação, ressaltando o atual distanciamento da indústria nacional do cenário industrial de países mais desenvolvidos.

Figura II.6 – Índice global de inovação (2017)



Fonte: Universidade Cornell, INSEAD e WPO (2017)

Um exemplo expressivo de medidas governamentais e privadas tomadas em prol da Indústria 4.0 é o conjunto de países da União Europeia que lideram a quarta revolução industrial. Em 2017 foi lançado um relatório de monitoramento da transformação digital chamado *Key lessons from national industry 4.0 policy initiatives in Europe* (Em tradução livre, *Principais lições da indústria nacional 4.0 para iniciativas políticas na Europa*) no qual há a análise dos avanços já alcançados e, principalmente, um *roadmap*¹² dos programas em andamento. Nele, encontram-se as principais características e objetivos dos programas em implementação englobando o desenvolvimento da infraestrutura tecnológica, a estratégia de captação de recursos (público e privado, com mecanismos para a garantia do investimento privado), o retorno financeiro esperado e as principais barreiras e impulsionadores de cada um.

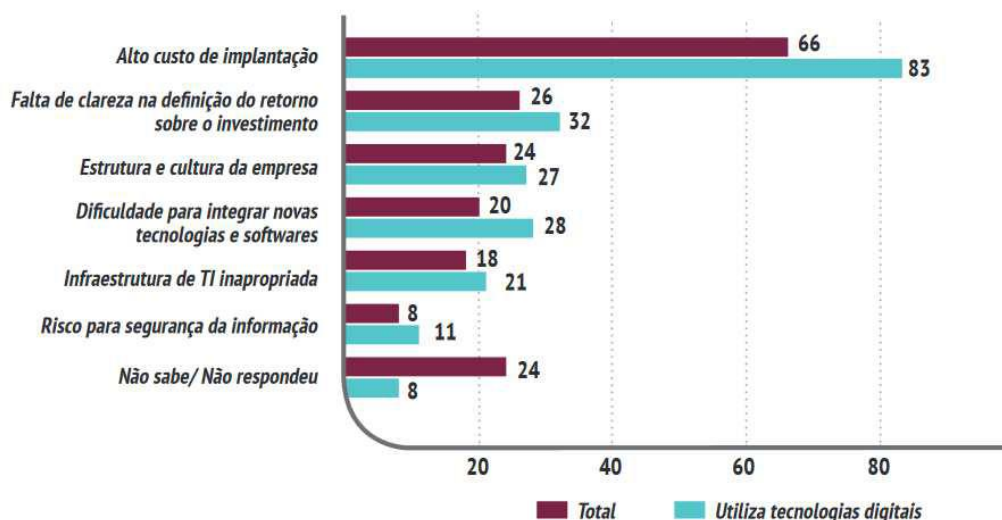
¹² *Roadmap* é uma ferramenta visual utilizada como um mapa para projetos.

Os principais participantes desses programas operam autonomamente e são constituídos por institutos de pesquisa, universidades, indústrias, governos locais e central. Por fim, há uma estrutura de acompanhamento de desempenho e análise cruzada a fim de encontrar denominadores comuns aos programas e países.

Já no Brasil, o relatório da CNI (2016) mostra as dificuldades enfrentadas internamente pelas empresas que adotaram tecnologias digitais em seus processos e a visão que as empresas nacionais e multinacionais com filiais em nosso país têm em relação a adoção dessas tecnologias, com os resultados mostrados por meio de gráfico na Figura II.7.

Figura II.7 – Barreiras internas que dificultam a adoção de tecnologias digitais

Total das empresas e empresas que utilizam tecnologias digitais
Percentual de repostas (%)



Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas repostas.

Fonte: CNI, 2016

Segundo a pesquisa, a maior barreira interna para a implementação de tecnologias digitais é o custo de implementação. Tal fator destaca, mais uma vez, a importância do papel do investimento em inovação – principal ferramenta de redução de custos quando se trata de implementação de novas tecnologias. Essa dificuldade é corroborada pela baixa capacidade de inovação das empresas brasileiras, configurando o 85º lugar (de 137 países) no ranking de 2017 do FEM.

A Figura II.8, abaixo, mostra a variação da taxa de inovação nacional ao longo dos anos. Tais percentuais ficam bem aquém da realidade de países europeus, deixando o

Brasil apenas na 64ª posição entre 126 países (Organização Mundial da Propriedade Intelectual, 2019).

Figura II.8 – Taxa de inovação nacional de produto e/ou processo



Fonte: CNI, com base em dados da Pintec (IBGE)

Por outro lado, um relatório de 2018 do CNI que levantou dados sobre os investimentos privados nacionais na Indústria 4.0, indicou que houve um aumento significativo na quantidade de indústrias que passaram a utilizar tecnologias digitais nos últimos dois anos, mesmo que em estágio inicial. O estudo foi baseado em uma pesquisa na qual 632 empresas industriais de grande porte responderam um questionário que levava em consideração 13 tecnologias digitais, sendo elas classificadas de acordo com seu foco dentro da indústria, conforme mostrado na Tabela II.1:

Tabela II.1 – Tecnologias digitais

FOCO	TECNOLOGIA
Processo de produção/ gestão dos negócios	Automação digital sem sensores; uso de Controlador Lógico Programável (CLP) sem sensores
	Automação digital com sensores para controle de processo
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) da empresa
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA*
	Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)
	Sistemas inteligentes de gestão, como comunicação M2M (máquina-máquina), gêmeo digital (Digital Twin) e Inteligência artificial (IA)
Desenvolvimento de produto	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos
	Prototipagem rápida, impressão 3D e similares
	Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.)
Produto/novos modelos de negócio	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) sobre o mercado; monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores
	Utilização de serviços em nuvem associados ao produto
	Incorporação de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou Product Service Systems)

Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas respostas.
**MES – Manufacturing Execution Systems; SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition.*

Fonte: CNI, 2018

Através dos questionários e algumas visitas, o relatório concluiu que, entre 2016 e 2018, houve um salto de 10% referente ao número de grandes empresas que já utilizam, pelo menos, uma das tecnologias consideradas em 2018, passando de 63% para 73%. Além disso, quase metade delas (48%) pretendiam investir nessas tecnologias ainda naquele ano.

Outra conclusão, considerada satisfatória pela CNI, é que as grandes empresas possuem uma tendência a priorizar as tecnologias que aumentam a eficiência do processo produtivo e melhoram a gestão dos negócios, com foco nas metodologias de *IIoT*, como a automação digital. No entanto, a presença tecnológica nos parques fabris ainda é considerada modesta devido à simplicidade das metodologias aplicadas atualmente.

A existência de tecnologias mais avançadas, como aquelas que permitem linhas flexíveis, integradas e autônomas; sensores de identificação de produtos e condições operacionais; coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (tecnologia comumente chamada de *big data*); monitoramento e controle remoto da produção; ainda são escassas nas fábricas brasileiras, sendo que as companhias que se propuseram a investir em tais tecnologias não ultrapassam os 20% dentre as empresas consultadas no estudo.

Esse baixo percentual de empresas que investem e já utilizam as tecnologias mais avançadas da Indústria 4.0 não é uma surpresa para os envolvidos na pesquisa. Isso se justifica, uma vez que o emprego dessas tecnologias está diretamente associado a uma significativa transformação do modelo de negócio e produção, enquanto a indústria brasileira ainda está no processo inicial de digitalização, ou seja, algumas etapas atrás.

Além disso, as empresas que demonstraram interesse em investir em tecnologias digitais, terão como foco aquelas já largamente conhecidas e utilizadas. Pelo estudo, 60% das companhias que deram resposta positiva quanto ao investimento em tecnologias digitais se enquadram nessa situação. Com isso, reforça-se a ideia inicial de que o Brasil ainda não foi capaz de adentrar o mundo digitalizado, pois seja qual tecnologia foi, ou será, escolhida pela empresa para realizar esse primeiro passo, ela ainda está, ou estará, em desenvolvimento dentro da companhia, necessitando de melhor investimento para obter o avanço esperado.

Mesmo em desenvolvimento, esse movimento contribui para o crescimento da Indústria 4.0 no país, segundo o CNI. O percentual de empresas que pretendem investir nesse caminho é maior entre aquelas que disponibilizam seu capital com o objetivo de introduzir um produto novo e/ou um processo produtivo melhorado. Ou seja, é maior entre as indústrias que procuram se desenvolver e ganhar competitividade.

Ainda em consonância, mesmo que tímida, com o mercado internacional, essas grandes empresas brasileiras demonstraram, segundo a pesquisa, interesse em incorporar tecnologias digitais para além do processo industrial, focando também no desenvolvimento de produtos e em novos modelos de negócio.

Em relação aos fatores que mais influenciam a decisão de investimento, a recuperação da demanda encontra-se como o maior estímulo entre as grandes empresas industriais que responderam o questionário. Para aquelas que pretendem investir nas tecnologias digitais, quase 70% indicou que suas decisões foram estimuladas pela retomada de crescimento em 2018. Já para aproximadamente 20%, a demanda foi limitante nesta decisão.

Esse comportamento é um sinal de que, mesmo com a significativa melhora de abordagem das indústrias ao que tange a quarta revolução, quando comparado com os dados de 2016, as barreiras encontradas naquela época ainda persistem. Ao condicionar o investimento em inovação à retomada da economia e, principalmente, da demanda, mostra-se um sinal de que as empresas ainda não compreenderam totalmente o papel fundamental dessa transição para a longevidade de suas corporações.

No relatório de 2016, como destacado anteriormente na Figura II.7, as principais barreiras internas encontradas eram o alto custo de implantação, a falta de clareza quanto ao retorno sobre o investimento e a cultura da empresa. Como esperado, ao reduzir o grupo de estudo para o setor tecnológico, que possui mais experiência, e principalmente, conhecimento das vantagens competitivas dessa tecnologia, a barreira interna que se destaca é a dificuldade de integrar as novas tecnologias à sua infraestrutura já existente, demonstrando uma maior maturidade do setor.

Já em relação às barreiras externas, mostradas anteriormente na Figura II.4, destaca-se principalmente a falta de trabalhador qualificado. Nesse mesmo questionário, um terço das empresas responderam que a limitação da mão-de-obra era o maior problema

externo quanto à implementação de tecnologias digitais. E ainda, quase a metade indicou que as principais medidas governamentais deveriam ser em prol da infraestrutura digital e de novos modelos de educação e treinamento. Ambas respostas corroboram os principais gargalos descritos para o avanço da indústria brasileira no início dessa seção; educação e infraestrutura.

Além disso, o estudo da CNI (2016) mostra ainda os benefícios esperados pelas empresas em seus processos produtivos e em seus balanços financeiros, com a adoção das tecnologias digitais no dia-a-dia da produção. Os resultados percentuais se encontram na Tabela II.2 abaixo.

Tabela II.2 – Benefícios esperados ao adotar tecnologias digitais

Percentual de respostas por porte da empresa (%)

ESTÁGIO/FOCO	BENEFÍCIO	INDÚSTRIA	POR PORTE DA EMPRESA		
			PEQUENAS	MÉDIAS	GRANDES
Eficiência	Reduzir custos operacionais	54	41	51	63
	Aumentar a produtividade	50	39	47	58
	Otimizar os processos de automação	35	21	29	46
	Aumentar a eficiência energética	18	10	18	22
Eficiência/ gestão	Maior visualização e controle dos processos de negócios (cadeia de valor, produção, etc.)	17	11	16	21
	Melhorar processo de tomada de decisão	24	16	23	28
Desenvolvimento/redução time to market	Reduzir tempo de lançamento de novos produtos	10	6	10	12
Produto	Melhorar a qualidade dos produtos ou serviços	38	36	38	39
	Desenvolver produtos ou serviços mais customizados	24	21	24	26
	Criar novos modelos de negócio	6	9	6	5
Meio ambiente	Melhorar a sustentabilidade	8	7	8	9
Trabalhador	Compensar a falta de trabalhador capacitado	7	10	9	5
	Aumentar a segurança do trabalhador	19	13	17	22
	Reduzir as reclamações trabalhistas	4	4	5	4
Não sabe/ não respondeu		28	39	30	21

Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas respostas.

Fonte: CNI, 2016

Diante desse cenário, no qual entraves e gargalos distanciam o Brasil da quarta revolução industrial e, principalmente, da competitividade econômica – fundamental para o desenvolvimento social do país - alguns modelos alternativos de negócio surgem para auxiliar nessa retomada. Dentre as ferramentas emergentes, a Inovação Aberta, já

praticada e estudada há mais de 50 anos, vem se mostrando fundamental na inserção de um ambiente 4.0.

II.5 – Inovação Aberta: O caminho para a Indústria 4.0?

Historicamente, a procura por melhores performances no mundo corporativo é oriundo da exponencial complexidade existente nas relações econômicas a partir da década de 60, quando importantes autores como Mueller, Gibbons & Johnston e, principalmente, Porter, começaram a disseminar novas ferramentas de mercado (Silva, 2013). Diante disso, houve um aumento na publicação de estratégias empresariais com o intuito de tornar as companhias mais diferenciadas e, conseqüentemente, competitivas em um mercado cada vez mais amplo e aberto.

Tais estratégias visam então planejar e executar ações que resultariam em uma maior captura de valor para seus produtos e/ou serviços. Em outras palavras, a estratégia competitiva pode ser interpretada como um mecanismo de governança dos recursos internos e externos de uma empresa que objetiva maximizar seus ganhos e posicionar-se vantajosamente perante a concorrência (Ito, Junior, Gimenez, & Fensterseifer, 2012).

Seguindo essa linha de raciocínio, existem três dimensões possíveis de serem trabalhadas, de acordo com a teoria de Porter (1989): a otimização dos custos, a diferenciação e o enfoque. A primeira ação orienta às empresas a focarem em uma alta produtividade, sendo capazes de ofertar seus produtos a um preço inferior ao de seus concorrentes. A segunda estratégia busca aumentar a competitividade através da criação de um produto ou serviço diferente dos demais, que se destaque. Já a última dimensão traz a necessidade da especialização em um nicho restrito, fazendo com que as estratégias possam ser potencializadas em um único setor, trazendo eventualmente resultados mais sólidos no longo prazo (Silva, 2013).

Atualmente, pode-se dizer que as três dimensões competitivas podem ser conquistadas através da inovação, seja ela focada em melhoria dos processos produtivos, desenvolvimento de novos produtos ou de gestão. A capacidade das empresas em criar algo novo e útil tornou-se a maior vantagem competitiva global, fazendo com que desempenhem uma performance superior às demais (Porter, 1985).

A fim de garantir tal inovação de forma contínua, as grandes empresas investiam grandes quantias de recursos em seus setores de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D),

empregando dezenas, ou até centenas, de profissionais qualificados em seus laboratórios. Quando necessário, se aproximavam de universidades e institutos de pesquisas com o intuito de resolver entraves pontuais e, por fim, colecionavam um número significativo de patentes, demonstrando o sucesso de seus centros de pesquisa e sua capacidade de manter seus avanços sigilosos. Até 2003, essa era a definição de inovação (Stal, Nohara, & Jr, 2014).

Tal modelo, hoje chamado de *Inovação Fechada*, funcionou muito bem por certo tempo, até que empresas líderes de seus setores começaram, por volta dos anos 2000, a sofrer concorrência de companhias que não possuíam nenhuma inovação interna (Stal, Nohara, & Jr, 2014). Notou-se então uma mudança estrutural na forma como as empresas investiam em inovação, na qual os pesquisadores internos assumiam então uma posição mais focada na definição de objetivos e métricas internas, enquanto as grandes disrupções eram buscadas fora do âmbito da empresa. Nascia então o conceito de *Inovação Aberta*.

Henry Chesbrough, ex-professor da *Harvard Business School* e atual coordenador do *UC Berkeley's Haas Business School*, definiu o termo *Inovação Aberta* como:

Inovação aberta é o uso de entradas e saídas de conhecimento intencionais para acelerar a inovação interna e expandir os mercados para uso externo da inovação, respectivamente. (Henry Chesbrough, 2003)

Segundo ele, esse novo modelo de inovação pode ser compreendido como uma antítese da integração vertical, que mantinha a pesquisa restrita às fronteiras de cada empresa. Com a inovação aberta, abriram-se dois novos caminhos: o de “*fora para dentro*”, no qual as tecnologias externas são absorvidas pelas companhias; e o de “*dentro para fora*”, onde os conhecimentos desenvolvidos internamente, e muitas vezes não aproveitados, são direcionados para fora da empresa e aproveitados por outras.

Um dos instrumentos que possibilitou o crescimento da Inovação Aberta, foi a popularização dos fundos de capital de risco, mais conhecidos como *Venture Capital* (VC), sigla em inglês. Os fundos de VC têm como finalidade o investimento em empresas em *growth-stage*, ou seja, ainda em crescimento. Os aportes são considerados de risco, uma vez que ainda existe boa chance de as empresas investidas não gerarem o retorno esperado, ou até mesmo falirem. Por outro lado, caso obtenham sucesso, os retornos são altos, visto que há um grande potencial de crescimento desses negócios.

O modelo de Inovação Aberta teve rápida disseminação no Brasil, devido às grandes barreiras que são colocadas no caminho das estratégias inovadoras das empresas brasileiras. Há anos já são vistas, e até estudadas, as relações abertas entre universidades e centros de pesquisas para com as indústrias. Incentivos governamentais como a Lei da Inovação (2004), o Programa de Subvenção Econômica (2010) – que estimula a contratação de mestres e doutores por empresas industriais – entre outros, demonstram que esse pode ser um bom caminho para o aumento das inovações corporativas (Stal, Nohara, & Jr, 2014).

No relatório supracitado, *Principais lições da indústria nacional 4.0 para iniciativas políticas na Europa*, foi realizada uma análise da matriz SWOT¹³ das iniciativas destacadas, a fim de qualificar os resultados já encontrados. Em relação às principais fraquezas encontrou-se o financiamento limitado, a falta de capacidade das grandes empresas implementarem sozinhas as tecnologias digitais, o planejamento fraco e os antiquados mecanismos de monitoramento. Dessa forma, corrobora-se o entendimento que o modelo de inovação aberta e o incentivo ao investimento de risco são excelentes caminhos para a consolidação das empresas perante à Indústria 4.0.

Klaus Schwab, economista alemão e fundador do Fórum Econômico Mundial, em seu livro “A Quarta Revolução Industrial” - lançado em 2017 - reforça a ideia de que a jornada da Indústria 4.0 não se trata apenas da adoção de tecnologias digitais ou da integralização completa das cadeias de valor da indústria, mas sim de uma ruptura de paradigma. Alinhado a isso, mudanças nas culturas governamentais e educacionais, assim como inovações disruptivas na cultura empresarial e no *modus operandi* de condução dos negócios, são estratégias necessárias para tal processo de transformação.

Todos esses impactos oriundos da atual revolução 4.0 exigem que as corporações repensem seus modelos de negócio, desafiando seus planejamentos estratégicos de forma a operarem com mais agilidade e, principalmente, flexibilidade (Schwab, 2017). Dessa forma, torna-se fundamental a compreensão integral do escopo da Indústria 4.0, principalmente para a indústria brasileira, uma vez que modelos de negócio disruptivos podem mitigar a maioria dos gargalos encontrados durante a implementação das novas tecnologias digitais.

¹³ A matriz SWOT é uma técnica utilizada por organizações para identificar forças, fraquezas, oportunidades, e ameaças relacionadas ao negócio ou a projetos específicos.

II.6 – A Nova Dinâmica Econômica: Uma possibilidade para uma sociedade melhor?

Frente a todas essas mudanças oriundas da Indústria 4.0, surge o questionamento sobre como e, principalmente, o quanto elas afetarão o *status quo* ¹⁴ da sociedade. Com essa reflexão em foco, o Fórum Econômico Mundial publicou, em abril de 2019, o *white paper* ¹⁵ “*Globalização 4.0: moldando uma arquitetura global na era da quarta revolução industrial*”. Nele, encontram-se as principais necessidades, não apenas tecnológicas, mas geopolíticas, sociais e ambientais que as empresas e os governos precisarão lidar para enfrentar os desafios que estão por vir.

Por mais que o desenvolvimento da Indústria 4.0 levante as mesmas dúvidas quanto ao aumento da desigualdade, desemprego e poluição que outras revoluções já levantaram, a história provou que novas invenções geralmente criam mais oportunidades, mais empregos e também mais soluções, antes impensadas. Por isso, um dos maiores questionamentos tem girado em torno de como antever e já utilizar-se do impacto direto e positivo que essa nova realidade terá nas comunidades locais, ao invés de levantar ações para frear essa revolução.

Em todo o mundo, há uma crescente popularidade da economia digital juntamente com o surgimento de um significativo número de plataformas com alto potencial de alavancar mudanças sociais, já visto em aplicativos como: *Airbnb*, *Uber* e *Fintechs*¹⁶ em geral; entre outras soluções. Diante disso, a chamada *Sociedade 5.0*, termo desenvolvido pela mais importante federação comercial japonesa, *Keidanren*, segue a linha da quarta revolução industrial e envolve todos os problemas sociais experimentados pela atualidade que serão afetados pelo uso da tecnologia.

De fato, a Sociedade 5.0 – também chamada de “Cidades Super Inteligentes”, fazendo analogia ao termo “Fábricas Inteligentes” – traz as tecnologias avançadas de TI, IoT, robótica, IA e RA, aplicadas ativamente na vida das pessoas comuns (Skobelev & Borovik, 2017).

¹⁴ Expressão em latim, significando “o estado das coisas” em tradução livre, e utilizada para a designar uma atual situação;

¹⁵ *White paper* é um documento oficial publicado por um governo ou uma organização internacional, a fim de servir de informe ou guia sobre algum problema e como enfrentá-lo.

¹⁶ Termo em inglês que surge da junção das palavras “financial technology”, ou seja “tecnologia financeira”. É usada para definir empresas inovadoras que utilizem da tecnologia para mudar a forma ou otimizar os serviços financeiros.

Por outro prisma, indiretamente, alguns aspectos da quarta revolução industrial, como a mudança no papel da educação, o surgimento da inovação aberta juntamente com o crescimento do financiamento através dos fundos de risco, a crescente descrença no modelo econômico atual e também as próprias tecnologias digitais, permitiram a criação de um novo, e até então impensável, modelo de negócio. Tal modelo é sustentável financeiramente, porém focado na redução da desigualdade social, sendo denominado *empreendimento socialil*. Este, deve ter como objetivo a solução de um problema social, sendo seus impactos e resultados passíveis de medição e monitoramento.

O conceito de negócio social surgiu lentamente quando o economista e professor Muhammed Yunus começou, em 1976, o projeto chamado *Grameen Bank* (Banco da Aldeia, em tradução livre). Inicialmente, a experiência se tratava de pequenos empréstimos oferecidos, sem necessidade de garantia, às mulheres agricultoras em pequenas vilas de Bangladesh. Em 1983, o banco tornou-se oficial e seguia exatamente as mesmas práticas com as quais iniciou. Atualmente, empresta mais de US\$ 2,5 bi por ano para mais de 9 milhões de mulheres pobres no mundo todo, inclusive no Brasil. Incrivelmente, o *Grameen Bank* possui a menor taxa de inadimplência do mundo (Yunus Negócios Sociais, 2018). O enorme sucesso do banco foi a prova que Yunus precisou para constatar que era possível criar e prosperar economicamente através de negócios sociais.

Munido desse resultado, Yunus então desenvolveu um fundo de investimento de risco, exatamente nos mesmos moldes dos VCs já existentes, e focou todo seu capital em empreendedorismo social. Apenas em 2017, o fundo *Yunus negócios sociais* acelerou e investiu mais de 40 empreendedores sociais, impactando a vida de aproximadamente 18 mil pessoas no Brasil (Yunus Negócios Sociais, 2018).

Além disso, a capacidade atual do sistema – através do crescente uso das *redes sociais* – de viralizar e expandir negócios iniciados por micro e pequenos empreendedores, fazendo com que seus mercados sejam completamente ampliados, acaba por fazer com que os modelos de negócios já comprovados possam se tornar escaláveis com muito mais rapidez e facilidade do que em outras épocas. Dessa forma, e aliado à recente capacidade de “microinvestimento” provido pelas VCs, essas pequenas empresas sociais tornam-se significativas no papel da redução da desigualdade.

Além disso, pode-se contar ainda com as próprias disrupções causadas pelas novas tecnologias digitais, fazendo com que surjam soluções tecnicamente inovadoras para antigos problemas estruturais que perduram até hoje, tais como: saneamento básico e eficiência da agricultura familiar.

Assim como as muitas previsões sobre como seria a sociedade do futuro falharam no final da década de 60, e em muitas outras épocas, não se pode afirmar exatamente como será e, se existirá, uma *Sociedade 5.0*. No entanto, há evidências históricas, sociológicas e até tecnológicas para a conclusão de que haverá uma mudança estrutural em como nos organizamos. O quanto ela será positiva e o quão rápido isso acontecerá, cabe à sociedade e ao tempo dizerem.

Capítulo III

Economia Circular

III.1 – Origem do termo

O conceito de Economia Circular (EC) surgiu em 1989 em um artigo dos economistas e ambientalistas britânicos David W. Pearce e R. Kerry Turner. A publicação da época tinha o intuito de mostrar que a economia tradicional e linear, praticada desde o período da primeira revolução Industrial, no século XVII, não levava em conta a reciclagem de insumos em seus processos de produção. Isto é, qualquer produto, subproduto ou matéria-prima, que não tinham serventia para o processo principal, eram descartados, sem chance de aproveitamento (BRASKEM, 2018).

Essa forma de produção levou ao meio ambiente desempenhar tanto o papel de fornecedor de matéria-prima, quanto o de depósito de resíduos. Desse modo, em oposição à economia linear, cujo lema era “extrair, produzir e descartar” (do inglês “*take-make-use-dispose*”), surgiu o conceito de EC inspirado na lógica cíclica da natureza (BRASKEM, 2018).

De acordo com Guilherme Brammer, engenheiro de materiais e fundador da Boomera¹⁷, a Economia Circular se diferencia da linear, pois propõe que todo produto seja pensando em sua totalidade, incluindo o reaproveitamento dos materiais que o compõem, de modo que eles voltem ao ciclo produtivo de alguma forma. Em complemento a isso, a Ellen MacArthur Foundation¹⁸ destaca que resíduos passam a não existir quando os componentes dos produtos são projetados para permanecerem em seu mesmo ciclo. Ou seja, a ideia de gerar resíduo em um processo produtivo não tem sentido se a desmontagem e ressignificação do produto for contemplada já no momento de seu projeto (BRASKEM, 2018).

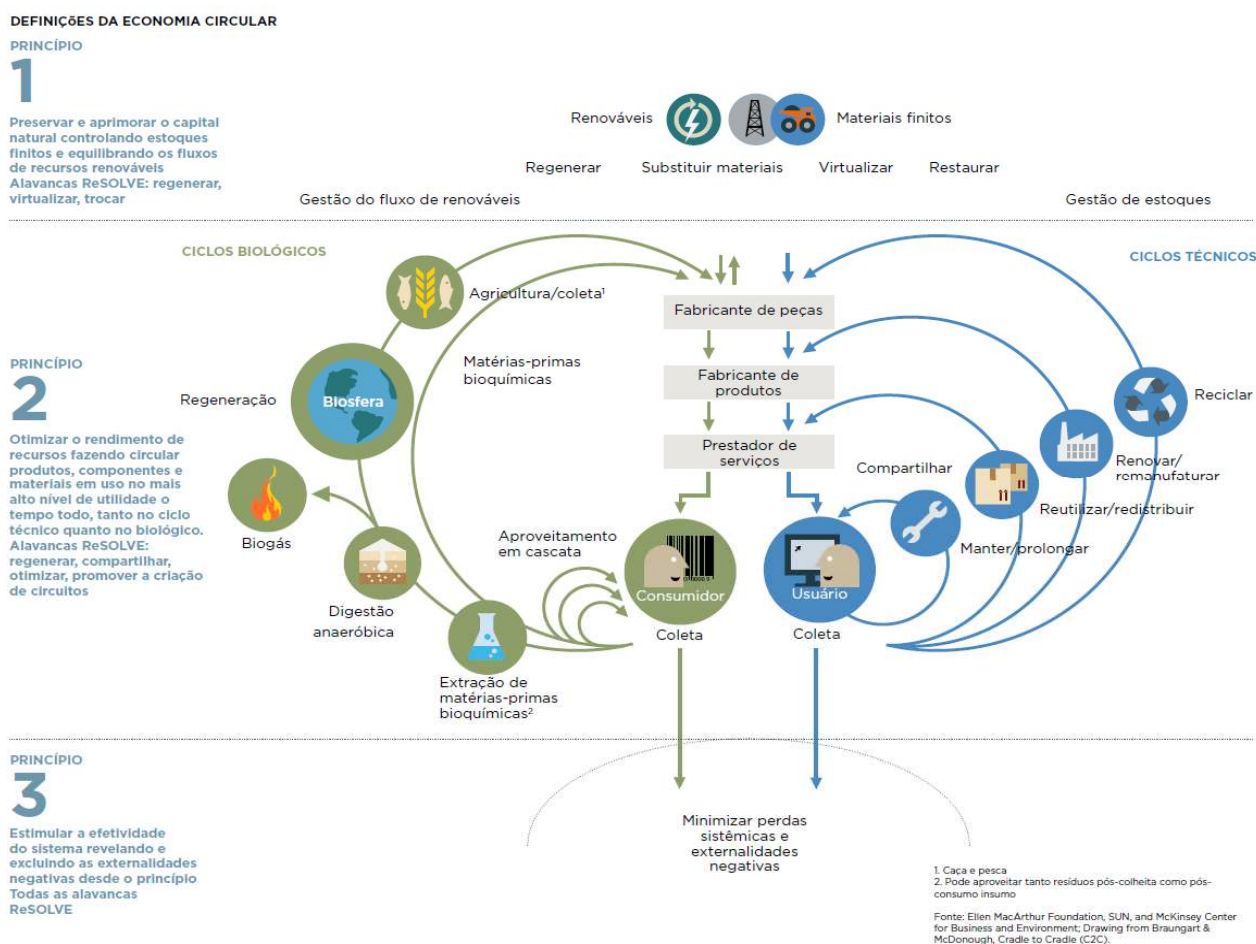
¹⁷ A Boomera é uma empresa paulistana que trabalha ajudando outras empresas a reciclar resíduos para que virem novamente matéria-prima, por meio de Engenharia Circular e Logística reversa.

¹⁸ Criada em 2010 pela velejadora e recordista inglesa Ellen MacArthur, a Ellen MacArthur Foundation é uma das entidades mais comprometidas com a promoção da Economia Circular pelo mundo.

III.2 – Princípios e bases da Economia Circular

De acordo com a definição dada pela Ellen MacArthur Foundation, no estudo produzido pela rede CE100 Brasil¹⁹ e publicado em 2017, uma economia circular é restaurativa e regenerativa por princípio, tendo como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor, durante todo o tempo, distinguindo entre materiais técnicos e biológicos. Essa abordagem busca desassociar o desenvolvimento econômico, do consumo de recursos finitos, eliminando assim externalidades negativas da economia (CE100 BRASIL, 2017). A Figura III.1 mostra a diferença entre o ciclo técnico e o ciclo biológico, ressaltando ainda os três princípios que regem a Economia Circular.

Figura III.1 – Diagrama do sistema de Economia Circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation, SUN, e Mc Kinsey Center for Business and Environment

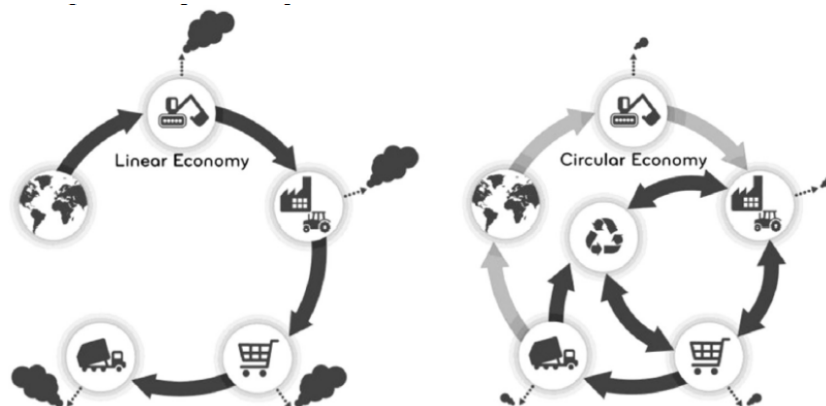
¹⁹ CE100 Brasil faz parte do programa *Circular Economy 100*, que reúne membros de diversos setores da economia, proporcionando oportunidades de colaboração multidisciplinar. Entre os membros, estão presentes: grandes corporações, governos e cidades, instituições acadêmicas, inovadores emergentes, pequenas e médias empresas (PMEs) e organizações afiliadas.

Como é possível observar na imagem anterior, no ciclo biológico os processos naturais regeneram materiais com ou sem a intervenção humana. Já no ciclo técnico, desde que haja energia suficiente, a intervenção humana tem o papel de recuperar esses materiais e recriar a ordem, obedecendo um tempo determinado (ARAÚJO, 2017).

O ciclo da Economia Circular consiste no desenvolvimento contínuo, que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos sistêmicos, administrando estoques finitos e fluxos renováveis e oferecendo diversos mecanismos de criação de valor, desassociados do consumo de recursos finitos. Essa última ação, por sua vez, ocorre apenas em ciclos biológicos efetivos. Do contrário, a reutilização desses insumos substitui seu consumo. Em outras palavras, os recursos se regeneram no ciclo biológico, ou são recuperados e restaurados no ciclo técnico (ARAÚJO, 2017).

A Figura III.2, por outro lado, mostra uma comparação entre a economia circular e a economia linear, enfatizando a questão da diminuição da emissão e descarte de resíduos.

Figura III.2 – Economia Linear vs Economia Circular



Fonte: ARAÚJO, 2017

Em uma abordagem um pouco mais direta, Berardi et al., em seu artigo para a edição de 2018 da revista GVEXECUTIVO da Fundação Getúlio Vargas, aponta os três princípios da Economia Circular da seguinte forma:

- Preservar e aumentar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando o uso de recursos renováveis;
- Otimizar o uso de recursos na produção, circulando produtos e materiais, visando o máximo de utilização (ciclo técnico e ciclo biológico);

- Fomentar a eficácia do sistema, através da identificação e eliminação das externalidades negativas dos processos.

Isto ressalta e corrobora o que foi até então discutido sobre os pilares da Economia Circular e suas bases conceituais, porém de uma forma mais concisa.

Existem alguns pontos, igualmente relevantes, que também merecem ser mencionados, já que distinguem a Economia Circular das tentativas anteriores de reduzir o consumo de energia, o consumo de material e a poluição, em todas as suas formas de manifestação. Tais aspectos são evidenciados a seguir por Araújo et al. (2017):

- Desde a fase de *design* de produtos e serviços deve-se pensar que, ao final de seus ciclos de vida, eles representarão insumos para outras indústrias, o que significará menos produtos descartáveis.
- A implementação em larga escala da Economia Circular reduzirá a energia necessária para produzir qualquer mercadoria, pois exigirá menos matéria-prima, devido à prática de reaproveitamento de resíduos. Isso, por sua vez, exigirá mudanças na educação, nos valores e nos comportamentos de produtores e consumidores.
- Para ser funcional, a Economia Circular necessita de um quadro legislativo institucional específico, que abranja todos os aspectos da atividade econômica e social.

Nota-se que a conscientização social acerca do reaproveitamento de resíduos é uma das etapas mais importantes na transição para uma Economia Circular. Convencer produtores e consumidores de que o lixo gerado cotidianamente e sem tratamento adequado tem um impacto ambiental extremamente negativo para o planeta é uma das tarefas mais difíceis. Entretanto, com o apoio de uma base legislativa específica para respaldar as atividades de gerenciamento e reaproveitamento de resíduos, reintegrando-os à cadeia produtiva e reduzindo assim desperdícios infundados, já seria de grande relevância para uma futura mudança de cultura sócio-ambiental e empresarial.

O contexto chave nesse cenário é mostrar que os resíduos gerados em qualquer processo produtivo podem ter outra finalidade, muitas vezes mais rentável e ambientalmente melhor, do que o simples descarte na natureza. Dessa forma, utilizar esses resíduos como matéria-prima para outros processos, agregando valor a eles e

levando-os de volta ao ciclo de produção é a intenção de um projeto adequado de Economia Circular.

A fim de desenvolver uma ferramenta capaz de uma análise um pouco mais detalhada, a metodologia ReSOLVE, proposta pela Ellen MacArthur Foundation e o McKinsey Center (2015), aborda práticas multisetoriais que reforçam e aceleram o desempenho em EC de organizações por meio do aproveitamento de ativos físicos, prolongamento de sua vida útil e transição do uso de recursos não-renováveis para matrizes renováveis (DANTAS, HAMMES, SOUZA, CAMPOS, & SOARES, 2018). Essa metodologia faz uso da aplicação de seis ações que estariam de acordo com a EC, sendo elas: Regeneração, Compartilhamento, Otimização, Loop, Virtualização e Troca (Jabbour, Jabbour, Filho, & Roubaud, 2018).

III.3 – Análise de Ciclo de Vida

No cenário no qual é crescente a necessidade econômica de um modelo de produção mais focado na sustentabilidade, torna-se essencial para as atividades industriais o planejamento adequado e minucioso de toda a cadeia produtiva. A partir disso, surge a possibilidade de realizar diversas modificações no modelo de produção que resultem em um prolongamento da vida útil do produto, ou pelo menos, uma integração para que haja o reprocessamento do mesmo (Oliveira, França, & Rangel, 2019). Uma vez que esse planejamento seja aplicado corretamente, pode-se dizer que o *ciclo de vida* de tal produto foi satisfatoriamente prolongado.

Após a popularização do conceito de Economia Circular entre empresas e países, tornaram-se necessárias iniciativas que contribuíssem para a quantificação de seu real benefício. Desta forma, a Análise de Ciclo de Vida (ACV) vem como uma ferramenta capaz de materializar o impacto ambiental e, posteriormente social, de um produto e/ou serviço, contribuindo para a comprovação da maior racionalidade quanto a eficiência dos recursos pregada pela Economia Circular.

A partir de uma revisão bibliográfica realizada sobre os artigos mais relevantes publicados até 2017 sobre os temas “economia circular” e “ciclo de vida”, observou-se uma forte importância do papel da ACV na quantificação e comprovação dos benefícios da Economia Circular, principalmente nos estudos europeus (Oliveira, França, & Rangel, 2019).

A análise do ciclo de vida de um produto, ou seu desempenho ambiental, envolve cálculos e estudos complexos que avaliam o aspecto ambiental de produtos e serviços, da concepção ao descarte final, considerando todos os processos envolvidos para sua existência. Nesses estudos, são considerados aspectos incorporados a partir da extração de matérias-primas necessárias e do uso de recursos naturais para a fabricação do produto. São considerados também os impactos causados durante o uso desse produto em sua vida útil. E, finalmente, o impacto de seu descarte, até mesmo durante os processos de coleta e reciclagem. Dessa forma, a análise de ciclo de vida permite verificar a quantificação de cargas ambientais e a ponderação dos impactos positivos e negativos que um produto, sistema ou processo têm no ambiente.

Resumidamente, existem quatro fases durante o estudo de ACV. Ele é iniciado pela definição do objetivo e escopo, onde estão listados os motivos para a realização do estudo, sua aplicação pretendida e também seu público-alvo; sendo seguida pela análise completa do inventário do ciclo de vida, que contempla a compilação dos insumos e das emissões relacionadas ao produto. Logo após, há a avaliação do impacto desse ciclo, quantificando a magnitude e significância dos impactos encontradas na etapa anterior e, finalmente, o cruzamento entre os resultados encontrados e o escopo definido *à priori*. É nessa etapa onde aparecem as conclusões e recomendações finais em cima da cadeia.

Assim, as equipes de P&D das empresas utilizam a ACV para determinar as melhores soluções para as questões ambientais que possam surgir. Dessa forma, as informações coletadas na ACV e os resultados de suas análises e interpretações são úteis para a tomada de decisões durante toda a cadeia produtiva, desde a seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação do desempenho, passando pelo próprio design de produtos ou processos, até finalmente o descarte de seus resíduos (e a possibilidade de uma remanufatura) englobando assim todo o planejamento estratégico.

O interesse na ACV cresceu exponencialmente a partir da década de 1990, quando apareceram os primeiros artigos científicos sobre o assunto. O conceito foi ganhando credibilidade com sua utilização, desenvolvimento e aprimoramento pela empresa multinacional *The Coca-Cola Company* (Sheldon, 2016), se solidificando ainda mais com a publicação da ISO 14040 (*Organização Internacional para Padronização*), que descreve os princípios e a estrutura da ACV dentro da gestão ambiental. Nessa época, a

metodologia tornou-se mais robusta e amplamente mais creditada (Finnveden, et al., 2008).

Enquanto a EC requer diferentes abordagens quanto à produção e consumo dos produtos e serviços, a ACV surge como uma abrangente avaliação capaz de identificar a grande maioria dos impactos ambientais e sociais da indústria. Com isso, a ACV oferece um mapa, tal que os fabricantes possam atuar da forma que considerarem mais eficaz e, por fim, alcançar o remodelamento desejado. Essas intervenções, quando bem aplicadas, acarretam em um processo produtivo mais sustentável e econômico, tanto para as empresas quanto para a sociedade.

Tanto o conceito de Economia Circular quanto a ferramenta de Análise do Ciclo de Vida foram posteriormente englobadas ao novo modelo econômico, concebido durante a conferência Rio+20, chamado de Economia Verde. Nele, há uma série de teorias econômicas, conceitos, abordagens e ferramentas práticas que permitem a indústria realizar uma produção mais limpa e eficiente de recursos. Além disso, eles também representam uma alternativa para pequenas e médias empresas identificarem oportunidades de melhoria de performance e se alavancarem através de relações multidirecionais com a indústria e a sociedade (Malaguti, 2005).

Capítulo IV

Economia Circular e Indústria 4.0

Enquanto a Economia Circular é compreendida como a nova mentalidade de negócios que pode ajudar as organizações e a sociedade a caminharem rumo ao desenvolvimento econômico sustentável, o modelo da Indústria 4.0, com suas ferramentas de tecnologia da informação, IoT, fábricas inteligentes, processamento em tempo real, etc., pode facilitar a concretização desse novo ambiente (Jabbour, Jabbour, Filho, & Roubaud, 2018).

Tecnologias avançadas e digitais, oriundas da quarta revolução industrial têm a capacidade de expandir a circularidade dos recursos necessários dentro da cadeia de suprimentos, fazendo com que a EC se torne uma realidade ainda mais palpável. No entanto, poucas são as publicações que relacionam diretamente essas duas correntes, sendo os dois tópicos amplamente estudados separadamente (Jabbour, Jabbour, Filho, & Roubaud, 2018).

Por outro lado, muitos países já iniciaram um movimento para regulamentar e implementar políticas públicas que foquem no desenvolvimento sustentável durante a transição para a Indústria 4.0, colocando em prática os conceitos da EC, mesmo que não diretamente declarado (LIN, SHYU e DING, 2017).

Dessa forma, pode-se dizer que, mesmo com poucas publicações acadêmicas sobre a conexão dos dois temas, empresas e governos já dão sinais de alinhamento entre as inovações da Indústria 4.0 (principalmente oriundas dos avanços digitais) e o movimento em prol da EC. Nessa linha, os estudos pioneiros encontrados sobre tal dicotomia, com destaque para Man e Strandhagen (2017) e Stock e Seliger (2016), alegam que é bastante provável que a principal conexão entre a EC e a Indústria 4.0 se dê através da tomada de decisão no âmbito do gerenciamento de operações mais sustentáveis.

Diante disso, o surgimento das tecnologias abordadas dentro da Indústria 4.0 apresentam mecanismos, antes inexistentes, para o fechamento de ciclos produtivos e para a máxima otimização dos recursos utilizados. Além disso, elas permitem a criação de novas oportunidades dentro de uma mesma cadeia de valor (DANTAS, HAMMES, SOUZA, CAMPOS, & SOARES, 2018).

Com isso, caso seja do interesse corporativo, é possível ter como consequência a adoção de uma economia mais circular após a implementação de práticas industriais e de gestão oriundas da quarta revolução industrial. A redução de resíduos sólidos, de subprodutos poluentes, de consumo energético e de gastos com logística se tornaram comuns nos processos industriais 4.0. Por outro lado, caso a empresa não tenha uma cultura circular presente, essa implementação pode ter efeito contrário, semelhante ao ocorrido nas primeiras revoluções industriais, gerando um aumento desenfreado no consumo e no desperdício, devido a maior facilidade de aumento na produção, proporcionada por tais avanços tecnológicos.

Dentre as tecnologias que mais têm se destacado no auxílio à Economia Circular estão: o rastreamento dos produtos pós-compra e pós-consumo (a fim de se recuperar seus componentes, caso a indústria possua uma cadeia já estruturada), o compartilhamento de dados em tempo real (principalmente sobre a alocação de recursos como água, energia e materiais) e as tecnologias de informação capazes de expandir a cadeia de valor de um único produto.

Com o intuito de analisar mais profundamente quais são os impactos positivos dentro da EC das tecnologias da Indústria 4.0, alguns estudos como Dantas, Hammes, Souza, Campos e Soares (2018) e Jabbour, Jabbour, Filho, e Roubaud (2018) optaram por utilizar o mecanismo ReSOLVE (detalhado no tópico III.2), para avaliar a aplicabilidade dessas tecnologias no modelo de EC. Dessa forma, foi possível verificar, dentro do espectro da Economia Circular, quais avanços tecnológicos mais conectariam a indústria com o desenvolvimento sustentável esperado.

O resultado dado pela publicação aborda que, dentre as ferramentas mais bem conceituadas na metodologia ReSOLVE, a que se destaca é a *fábrica inteligente*. Considerada uma sinergia entre computação em nuvem, rede de comunicação e sistema *Cyber-físico*, essa prática foi a que mais contribuiu para a maximização do desempenho do produto e, principalmente, dos processos produtivos. Enquadrando-se na categoria de *Otimização* (além de também fazer parte de *Virtualização*), ela demonstrou uma significativa importância na desmaterialização dos processos e, por consequência, na redução do consumo de insumos.

Ainda na mesma linha, os sistemas *Cyber-físicos*, capazes de potencializar a interação homem-máquina e, assim, “transferir” o mundo real para o virtual, mostraram

ser base fundamental para os chamados “Produtos e Serviços Inteligentes”, que oferecem recursos e funções diferenciadas através do poder da *conectividade*. Esses produtos e serviços, quando enquadrados nessa metodologia, emergem como excelentes ferramentas de compartilhamento (Metodologia ReSOLVE).

Além dessas, como já bastante discutido no presente trabalho, a Internet das Coisas e o *Big Data* também obtiveram bons resultados ao serem analisados pelo método. Todas essas disrupções aplicadas de forma conjunta, permitem o gerenciamento e o acompanhamento do produto durante todo seu ciclo de vida, desde a manufatura até a coleta após descarte. Essa realidade torna a aplicação dos conceitos da Economia Circular muito mais palpáveis e, inclusive, vantajosos perante os olhos da indústria. O recolhimento após disposição final, a reciclagem, a remanufatura, a reutilização, a otimização e até troca dos recursos e processos deixam de ser uma obrigação social e tornam-se vantagens competitivas ao valorizar a marca perante os consumidores (DANTAS, HAMMES, SOUZA, CAMPOS, & SOARES, 2018).

Portanto, é possível notar que há uma relação direta entre a transição do modelo atual linear para o modelo circular e a inovação tecnológica proporcionada pela Indústria 4.0, capaz de oferecer não só uma maior eficiência nos processos produtivos, como notáveis benefícios ambientais (DANTAS, HAMMES, SOUZA, CAMPOS, & SOARES, 2018).

Assim, sob esse olhar, constata-se que, de modo geral, os conceitos de Economia Circular e de Indústria 4.0 parecem estar em caminhos convergentes, a depender da forma ou intuito como são aplicados pelas empresas; se apenas buscando lucro pelo aumento eficiente da produção, ou se conscientemente buscando uma melhoria contínua de seus processos para um aumento de eficiência atrelado a uma produção de base sustentável. Em outras palavras, nota-se que a adoção das práticas tecnológicas que visam o aumento da eficiência industrial podem alavancar a sustentabilidade dentro de um processo, mas sendo fundamental que a circularidade esteja no centro da cultura corporativa.

Dessa forma, a busca pela complementação de um modelo no outro, a fim de obter a melhoria de eficiência desejada através da automatização de processos, e o aumento do ganho em sustentabilidade, através da redução e reaproveitamento de resíduos e diminuição no consumo de utilidades de processo, é possível na teoria. Por esse motivo, foi realizado o estudo de caso a seguir, a fim de testar sua aplicabilidade na prática.

Capítulo V

Estudo de caso aplicado ao setor de Alimentos e Bebidas

Esse capítulo irá tratar do estudo de um processo produtivo do setor de alimentos e bebidas, com o intuito de incorporar os conceitos, estratégias e diretrizes apresentados e discutidos nos Capítulos II e III a respeito da Indústria 4.0 e da Economia Circular. Além disso, a partir da revisão bibliográfica realizada, elaboramos propostas adaptadas de implementações tecnológicas e conceituais no processo produtivo de suco de laranja integral.

V.1 – Objeto de estudo: produção de suco de laranja integral

O processo produtivo escolhido para ser estudado nesse trabalho foi o de produção de suco de laranja integral da empresa *Citrino*²⁰, criada como um estudo de caso para o Trabalho de Conclusão de Curso dos alunos de graduação em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para obtenção do grau de Bacharel, em 2018 (PEREIRA et al., 2018).

A motivação para a escolha dessa empresa foi a riqueza de informações técnicas e financeiras disponibilizadas, que normalmente não são liberadas ao público por empresas comerciais. Além disso, a preocupação da empresa com o fornecimento de um alimento mais saudável à população (por ser livre de conservantes), vai de encontro com a atual percepção dos consumidores em adquirir produtos mais saudáveis e sustentáveis.

Como já mencionado, o estudo tem o intuito de avaliar, de forma mais prática, se a adoção de estratégias e mecanismos da Indústria 4.0 pode levar a um ganho em sustentabilidade da forma como é abordado na temática da Economia Circular. Para isso, espera-se que os resultados do presente trabalho também possam ter aplicações em outras empresas.

Dessa forma, busca-se ampliar a possibilidade de atuação da Citrino em diferentes mercados, facilitando, agilizando, digitalizando e modernizando a cadeia de produção de seu produto final ou ainda reduzindo o uso de matéria-prima e/ou agregando maior valor a seus subprodutos, de forma a deixar sua cadeia produtiva mais circular. As proposições

²⁰ Criada por Isabella Bordinhão Torres Pereira, Jéssica Resende Bussolo, João Marcos Guerra Capri, Kariyn Yamamoto e Patrícia Florêncio de Andrade, sob a orientação da Prof. Dra. Ana Maria Ferrari Lima e coordenação da Prof. Dra. Andrea Sartori Jabur. Sua referência completa encontra-se na Bibliografia (PEREIRA et al., 2018) ao final do texto;

aqui expostas, poderão vir a ser implementadas futuramente pelos criadores da empresa, servindo como um diferencial da marca em termos de processo de produção no setor de alimentos e bebidas.

V.2 – Panorama mercadológico e principais desafios do setor

A fim de compreender melhor o mercado de suco de laranja, ou *citricultura*, deve-se ter em mente que a maior concentração da oferta desse produto está localizada em duas regiões do globo: o cinturão citrícola no estado de São Paulo e a região do estado da Flórida, na costa leste dos Estados Unidos, responsáveis pela produção de aproximadamente 50% e 20%, respectivamente, da produção de laranja para processamento industrial. Desse modo, a produção gerada nessas duas localidades determina a dinâmica de preço do suco no mercado mundial. Segundo a CitrusBR²¹ (2017), variações na produção, como as que têm ocorrido nos últimos cinco anos, devem ser analisadas profundamente, pois geram impactos diretos no setor.

Segundo o Departamento da Agricultura dos Estados Unidos (USDA), até 2017, o Brasil respondia, em média, por 34% da produção global de laranja e por 56% da produção de suco dessa fruta, configurando uma considerável importância para a economia do País. Aproximadamente 80% da produção nacional de laranja destina-se à fabricação industrial de sucos, sendo esse alto percentual justificado pela boa qualidade da laranja brasileira, que possui baixo índice de acidez, proporcionando melhores características sensoriais para o consumo. Além disso, o baixo custo do processo industrial de produção de suco de laranja em larga escala colabora ainda mais para o investimento no processamento da fruta (FRANCO, 2016). A Figura V.1 ilustra os dados mencionados, medidos num período de cinco anos, enquadrando o contexto brasileiro no cenário mundial.

²¹ CitrusBR, ou Associação Nacional dos Exportadores de Suco de Laranja, foi fundada em 2009 pelos maiores produtores e exportadores de sucos cítricos e seus derivados.

Figura V.1 – Média das cinco safras entre 2012 e 2016



Fonte: USDA, 2017

Considerando a natureza da atividade agrícola, que exige uma alta quantidade de mão de obra – especialmente nas temporadas de safra – a citicultura chega a impactar 350 municípios brasileiros espalhados por São Paulo e Minas Gerais. Segundo a CitrusBR (2017), em seu relatório anual, é possível notar o desenvolvimento acelerado desses municípios, com boa infraestrutura de saúde e educação.

Como já ilustrado, a citicultura é um dos mais tradicionais setores do agronegócio brasileiro e, assim como a maioria dos mercados diretamente ligados ao consumidor final, tem passado por mudanças estruturais desde os anos 2000 (CitrusBR, 2018). Isso ocorre, uma vez que é experienciado no setor de alimentos e bebidas, o aumento vertiginoso da quantidade de produtos substitutos, aliado ao decréscimo da fidelização dos consumidores, que gera um mercado muito mais competitivo e desafiador. Como consequência, a indústria vive uma nova realidade fabril e agrícola, não podendo mais contar com o consumo indubitável de um dos produtos mais consumidos pelos brasileiros diariamente (CitrusBR, 2017).

Essa redução no consumo do suco de laranja, agravada pela mudança de hábitos nos centros urbanos, como a queda da realização da primeira refeição do dia – momento de maior consumo do suco conforme a CitrusBR (2017) – fez com que, desde 2003, o consumidor global tenha deixado de consumir aproximadamente 688 milhões de caixas de laranja, totalizando quase o dobro da safra mais atual do cinturão brasileiro. Em outros números, 14 bilhões de litros de suco não chegaram à mesa do consumidor, quando comparado com períodos anteriores. Isso pode ser visto em números na Tabela V.1.

Tabela V.1 – Consumo e demanda por suco de laranja entre 2003 e 2016

ANO	Consumo de suco de laranja FCOJ equivalente 66 Brix (Markestrat)	Varição da demanda de suco de laranja em relação a 2003 em FCOJ equivalente 66 Brix	Rendimento industrial de suco na fruta (CitrusBR)	Estimativa das caixas que deixaram de ser demandadas por ano
	(1.000 t)	(1.000 t)	Caixas de laranja por tonelada de FCOJ equivalente 66 Brix	(1.000.000 caixas)
2003	2.399			
2004	2.406	7	244,19	1,8
2005	2.391	7	226,42	1,7
2006	2.341	57	232,69	13,3
2007	2.294	104	228,49	23,9
2008	2.241	157	252,88	39,7
2009	2.268	130	262,52	34,2
2010	2.249	150	240,58	36,1
2011	2.222	176	265,36	46,8
2012	2.114	284	263,54	74,9
2013	2.107	291	282,00	82,1
2014	2.054	345	240,50	82,9
2015	1.980	418	302,50	126,7
2016	1.954	444	286,37	127,3
Total do período		2.560		688,2

Fonte: CitrusBR, 2017

Essa realidade vem em consonância com as tendências industriais, nas quais o setor que, até então, estava unicamente preocupado com a produção, torna-se obrigado a agir, em prol do aumento do consumo e/ou do valor agregado de seus produtos, a fim de manter suas margens e desenvolver seus negócios. Por esse motivo, ações como a criação da CitrusBR e fóruns relacionados vem unindo essas indústrias e já alcançam alguns resultados interessantes, como a melhoria da imagem dos sucos - perante seus benefícios nutricionais - retomando suas vendas, e a aplicação de inovações tecnológicas fabris, aumentando seu valor agregado. Um exemplo disso, ilustrado na Figura V.2, é a campanha global “*Fruit Juice Matters*” (Sucos são importantes, em tradução livre), financiada pela Associação Europeia de Suco de Frutas e pela CitrusBR, visando promover o consumo de suco de laranja em toda a Europa, com participação ativa em 14 países.

Figura V.2 – Linha do tempo do projeto “Fruit Juice Matters”

Para chegar até aqui

A CAMPANHA FRUIT JUICE MATTERS SÓ TEVE INÍCIO EFETIVAMENTE EM 2016, MAS O TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO COMEÇOU MUITO ANTES, COMO MOSTRA A LINHA DO TEMPO:

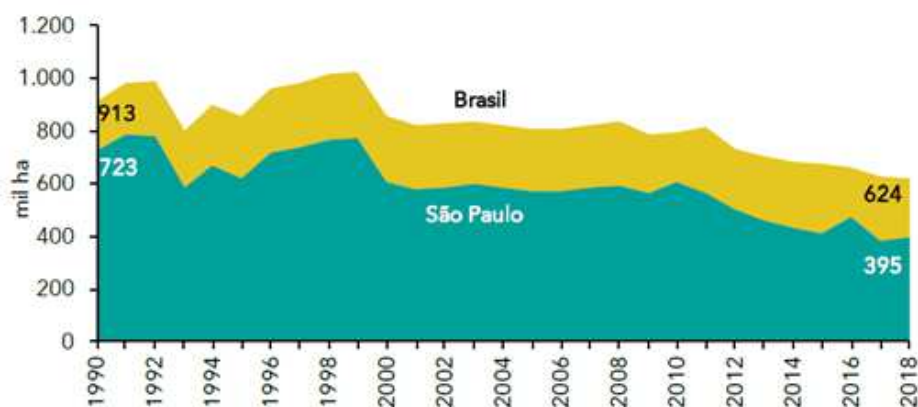


Fontes: CitrusBR e AIJN

Fonte: CitrusBR, 2018

De acordo com o relatório de Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de laranja deverá passar de 16,9 milhões de toneladas na safra 2017/18 para 18,2 milhões de toneladas em 2027/28, devendo apresentar um crescimento anual da produção por volta de 0,7% no próximo decênio. Contudo, a área plantada de laranja deverá sofrer uma redução nos próximos anos, cerca de 18,2%, passando dos atuais 624 mil hectares para 510 mil. Isso deverá ocorrer principalmente pela redução da atividade em São Paulo, que vem reduzindo a área de colheita da laranja, devido à expansão urbana. O estado tinha uma área de colheita de 723,0 mil hectares em 1990, e em 2018 caiu para 395,0 mil hectares. Houve, portanto, uma redução de 83,0%. Isso, sem dúvida afetou a área colhida no país, que no mesmo período caiu 18,2%, como mostrado na Figura V.3.

Figura V.3 – Área destinada a colheita de laranja



Fonte: IBGE

Todavia, ainda de acordo com o relatório do MAPA, as exportações de suco de laranja devem passar de 2,3 milhões de toneladas em 2017/18 para 2,7 milhões de toneladas ao final do período das projeções. Isso representaria um aumento de 17,5% na quantidade exportada. A Figura V.4 e a Tabela V.2 mostram as projeções realizadas pelo MAPA da produção de laranja nacional e da exportação de suco de laranja para o próximo decênio.

Figura V.4 – Produção de laranja e exportação de suco de laranja (mil ton.)



Fonte: CGEA/DCEE/SPA/Mapa e SIRE/Embrapa

Tabela V.2 – Produção de laranja e exportação de suco de laranja (mil ton.)

Ano	Produção - Laranja		Exportação - Suco	
	Projeção	Lsup.	Projeção	Lsup.
2018	16.920	-	2.294	2.550
2019	17.043	19.428	2.289	2.578
2020	17.167	20.540	2.355	2.702
2021	17.290	21.421	2.387	2.771
2022	17.414	22.184	2.436	2.859
2023	17.537	22.870	2.477	2.933
2024	17.661	23.503	2.521	3.010
2025	17.784	24.094	2.564	3.082
2026	17.908	24.653	2.608	3.154
2027	18.031	25.186	2.651	3.224
2028	18.155	25.697	2.694	3.293

* Modelos utilizados: Para produção modelo PA e para exportação modelo Espaço de estados.

Variação % 2018 a 2028	
Produção - Laranja	7,3%
Exportação - Suco	17,5%

Fonte: Elaboração da CGEA/DCEE/SPA/Mapa e SIRE/Embrapa com dados do IBGE e AGROSTAT

Esse aumento esperado na produção e nas exportações do suco de laranja brasileiro abre espaço para maiores investimentos no setor, principalmente no que se refere a melhoria de tecnologias e gestão de resíduos.

V.3 – Cadeia produtiva citrícola e produção do suco de laranja integral

Até chegar à mesa do consumidor, o suco de laranja brasileiro passa por uma longa cadeia produtiva, que vai do plantio das frutas (no cinturão citrícola) até o envase do suco, muitas vezes já em outros países. Essa cadeia da citricultura realiza um importante papel na economia brasileira, movimentando, por ano, aproximadamente US\$ 15 bilhões. Suas expotações somaram, em 2014, US\$2,5 bilhões. No total, juntamente com sua agroindústria, foram criados mais de 230 mil postos de trabalho (Neves, 2015).

O suco de laranja, majoritariamente exportado pelo Brasil é considerado uma *commodity*²² sendo comercializado à granel e transportado através de navios-tanque por empresas como a *Louis Dreyfus Company*, maior exportadora de suco de laranja do Brasil. As frutas são processadas em solo nacional e o envase ocorre apenas no país de destino. Esse processo auxilia a logística da cadeia e impacta positivamente na qualidade do produto final. Além disso, a indústria citrícola gera alguns subprodutos importantes,

²² *Commodities* são produtos considerados *matéria-prima* ou de pequeno grau de industrialização que podem ser estocado sem perda de qualidade (como os sucos processados, antes de seu envase). Seu preço, diferente de outros produtos, é determinado pelo mercado mundial, e não pelas empresas.

como óleos essenciais, farelo de polpa cítrica, *d-limoneno*, *terpeno*, dentre outros. Ou seja, todo o conteúdo da matéria-prima é atualmente aproveitado.

Existem diferentes processos para se obter o suco de laranja, sendo os mais comuns: o natural da fruta, o suco não concentrado (NFC) – também conhecido como suco integral – e o concentrado congelado e reconstituído. Como o próprio nome indica, a categoria natural abraça os sucos provenientes de frutas frescas, sem adição de açúcar, e são preparados na hora do consumo, enquanto o suco integral apresenta a mesma concentração de polpa e açúcar das frutas *in natura*, porém submetido a tratamento térmico para aumento de sua vida de prateleira. O processamento do suco congelado, por sua vez, passa por desidratação parcial e então uma reconstituição a partir do suco concentrado. Ao adicionar água, o produto final deve apresentar os mesmos indicadores de qualidade do suco integral.

De forma simplificada, a cadeia produtiva brasileira se inicia pelos insumos pré-agrícolas, onde se destacam as indústrias e empresas de defensivos agrícolas, fertilizantes, e também de mudas, tratores e todos os suprimentos necessários para o plantio. Após a etapa agrícola, tem-se o elo de processamento das frutas, englobando as indústrias de alimentos e bebidas diretamente produtoras dos diversos tipos de suco (concentrado, integral, etc.) e também aquelas demandantes dos subprodutos gerados, como os óleos essenciais, rações animais e também polpa de fruta congelada. Nessa etapa, encontram-se empresas que fornecem tanto para o mercado nacional como para o internacional. Antes do consumidor final, no último elo da cadeia, está toda a logística e distribuição principal dos produtos, englobando os serviços de mercado e alimentação (Osorio, Lima, Sant’anna, & Castro, 2017).

Os consumidores brasileiros, acompanhando as tendências globais, estão passando por uma mudança de comportamento e optando mais por sucos naturais, sem adição de conservantes e/ou de açúcares, do que pelo produto industrializado. Dessa forma, é notado um crescimento no mercado de suco de laranja integral (PEREIRA, et al., 2018).

Nesse contexto, a Citrino entra num mercado propício à sua visão de negócio, que é “*se tornar líder nacional no ramo de suco e ingredientes naturais derivados da laranja, buscando atuar de forma sustentável, otimizando ao máximo cada processo visando a mínima geração de resíduos, e ser reconhecida pela inovação tecnológica que garante*

alta produção a baixo custo operacional, fornecendo um ambiente de trabalho seguro e respeitoso aos funcionários”, cuja missão é a de “oferecer sucos integrais de alta qualidade para as famílias brasileiras, unindo sabor e nutrição, participando da formação de uma geração mais saudável com transparência, seriedade e fidelidade” (PEREIRA et al., 2018). A Citrino tem ainda como principais valores: o respeito ao meio ambiente, a ética, a inovação, a transparência e a confiabilidade; valores estes que estão completamente alinhados às temáticas da Economia Circular e da Indústria 4.0.

O produto principal da Citrino é o suco de laranja integral, que consiste de uma dose unitária de 300 mL. O produto é feito apenas de laranja, 100% natural, e passa pelo tratamento térmico de pasteurização, que inibe a proliferação de bactérias, fungos e microrganismo patogênicos, assegurando a validade do suco em até 30 dias após sua fabricação. A bebida possui ainda um alto valor nutricional, sendo fonte de vitaminas e minerais como: potássio, ácido fólico e betacaroteno; essenciais à saúde (PEREIRA et al., 2018).

A Citrino tem localização prevista para a região de Franca, no interior de São Paulo, que é situada no cinturão citrícola, sendo destaque em tratamento de água e saneamento básico, além de apresentar menor distância dos fornecedores de matéria-prima, boa qualidade da malha viária e possuir também incentivos governamentais para produção agrícola (PEREIRA et al., 2018).

A produção da empresa foi prevista para atingir um raio de 350 km a partir da cidade sede, em especial, a região oeste de Franca/SP, onde engloba as principais cidades metropolitanas da região (PEREIRA et al., 2018). A Tabela V.3 mostra tais cidades e suas respectivas populações.

Tabela V.3 – Estimativa populacional das cidades paulistas

Cidade	População
Araraquara	230.770
Barretos	120.638
Bauru	344.039
Campinas	1.182.429
Catanduva	221.475
Franca	347.237
Ribeirão preto	682.310
São Carlos	246.078
São José do Rio Preto	408.258
São José dos Campos	703.219
São Paulo	12.110.000
Sorocaba	659.871
Uberaba	328.272
Uberlândia	676.613
Total	18.261.209

Fonte: IBGE, 2016

Além disso, de acordo com PEREIRA et al. (2018), os principais concorrentes da Citrino nas regiões próximas, onde o suco de laranja produzido será vendido, são os sucos naturais integrais das marcas: Natural One, Naturacitrus e Xandô; que praticavam uma média de preço de prateleira expressos na Tabela V.4.

Tabela V.4 – Preços de prateleira dos principais concorrentes da Citrino

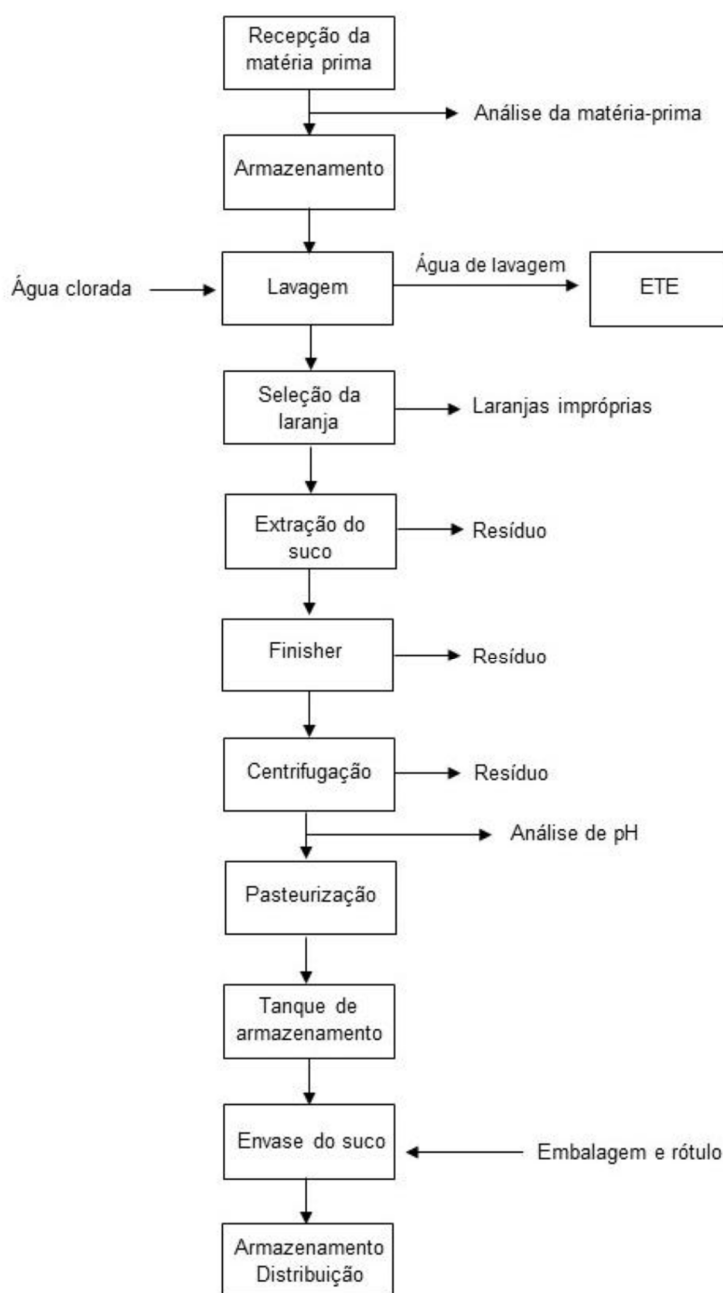
Marca	Natural One 900mL	Naturacitrus 1L	Xandô 1L
Preço (R\$)	8,37	7,90	6,45

Fonte: PEREIRA et al., 2018

Segundo Piedrahita et al. (2016) in PEREIRA et al. (2018), o consumo médio anual de suco de laranja integral no Brasil foi de 0,4 litros por habitante. Baseado nessa informação, PEREIRA et al. (2018) estabeleceu a base de cálculo para a produção anual de suco de laranja da Citrino, como sendo equivalente a 7,3 milhões de litros, com meta diária de, aproximadamente, 20 m³. Seu foco inicial de vendas foi para o setor varejista (mercados, padarias, lanchonetes, hotéis, etc.).

O processo de produção do suco de laranja integral da Citrino segue uma adaptação feita por PEREIRA et al. (2018) do processo de Tocchini, Nisida e Martin (1955), cujas etapas são mostradas no diagrama de blocos da Figura V.6.

Figura V.5 – Processo de produção do suco de laranja integral da Citrino



Fonte: PEREIRA et al. (2018)

Os resíduos gerados no processo são os normalmente obtidos pela indústria citrícola, envolvendo grandes quantidades de casca, caroço, bagaço, entre outros. Tais resíduos, além de formarem uma biomassa que pode ser utilizada como matéria-prima para a geração de energia, por meio de processos de biodigestão ou biodegradação de matéria orgânica, são também fontes de proteínas, enzimas e óleos essenciais, passíveis de recuperação e aproveitamento (PEREIRA et al., 2018); especialmente para a indústria de ração animal e para a indústria de cosméticos. O reaproveitamento desses resíduos e a

redesignação aliada à valorização do produto final englobam a dinâmica da Economia Circular, colaborando para o aumento da sustentabilidade do processo.

Segundo PEREIRA et al., 2018, em um cenário de projeção de aumento da demanda por suco de laranja – o que é corroborado pelos dados do MAPA (2017) – após consolidar-se no mercado regional, a Citrino tem como meta construir novas filiais nas demais regiões do país, uma vez que a produção brasileira de laranja deve permanecer sólida. Já para um cenário de projeções vantajosas à exportação – o que também é corroborado pelos dados do MAPA (2017) – a outra meta da Citrino é produzir suco de laranja não concentrado para exportação aos países que apresentam uma tendência de aumento de demanda desse produto. Em relação ao óleo essencial, subproduto do processo que possui alto valor agregado, no futuro, a Citrino também visa realizar sua extração para venda.

Indo ao encontro de tais objetivos de ampliação da empresa, a inserção de tecnologias da Indústria 4.0 à cadeia produtora da indústria citrícola auxiliaria ainda mais ao sucesso dessa expansão, tornando o processo produtivo mais integrado e eficiente. Isso, aliado à dinâmica da Economia Circular, poderá gerar uma indústria ambientalmente mais conciente, sustentável e eficiente.

Seguindo essa linha de raciocínio, nos tópicos seguintes serão apresentadas algumas propostas de implementação de tecnologias da Indústria 4.0 e de possíveis meios de aproveitamento e valorização de resíduos da indústria citrícola, visando gerar um ganho em sustentabilidade para o processo, que poderão auxiliar a Citrino em sua trajetória de crescimento. Além disso, como já mencionado, tais propostas servirão de ferramentas práticas para a avaliação das temáticas abordadas nos capítulos anteriores do presente trabalho.

V.4 – Propostas para implementação da Indústria 4.0

Geralmente, o próprio mercado funciona como um bom arbitrador dos riscos e das vantagens de se operar em cada etapa da cadeia produtiva. No entanto, se tratando de uma atividade com a produção global bastante concentrada, como a citricultura, existem algumas peculiaridades que permitem ao produtor especular esses riscos. Isso se dá, devido à oferta dos produtos depender de um grupo muito restrito de produtores. A criação de conselhos e/ou sistemas de informação compartilhada e verificação de riscos

é capaz de reduzir a assimetria entre tais produtores e ajuda-los a criar um panorama mais favorável, e alinhado (CitrusBR, 2016).

Alguns sistemas já praticados, como o inventário de árvores, a previsão de safras e a estrutura orçamentária de tecnologia e produtividade, vêm tornando os participantes dessa cadeia mais competitivos através da inserção de melhores informações e pontos de controle dentro dos processos (CitrusBR, 2016).

Surgindo como um incentivo financeiro para acelerar o financiamento de tecnologias e sistemas, como os citados acima, está o aumento de rentabilidade da atividade exportadora, devido a taxa de câmbio e o reequilíbrio do mercado global de suco, devido às campanhas como a *Fruit Juice Matters*. Entendendo que essa é uma janela finita e de tamanho desconhecido, entende-se que esse é um excelente momento para a expansão de ferramentas que auxiliem essas indústrias a adentrarem à quarta revolução industrial, podendo se beneficiar das alavancas competitivas descritas no parágrafo anterior.

Dessa forma, seguem abaixo algumas sugestões de aplicação das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 para o setor citrícola, já encontrados em outras indústrias agrícolas e, inclusive, gerando resultados positivos para as empresas inovadoras.

Mesmo não se tratando de interferências *diretamente* ligadas ao processamento de suco de laranja integral da empresa *Citrino*, os itens de Controle e monitoramento digital da safra, e Automatização de atividades rurais já são uma realidade em muitas empresas produtoras, inclusive no meio citrícola. Seus desdobramentos, como relatórios preventivos e de acompanhamento das safras e das atividades rurais, são de alta serventia para a *Citrino*, principalmente no que tange a otimização de seus processos e a programação produtiva.

V.4.1 – Controle e monitoramento digital da safra

A agricultura é a atividade socio-econômica mais dependente das condições climáticas, estando inclusive no topo das preocupações da FAO e do FEM quando se trata de desenvolvimento e mudanças climáticas. O clima influencia diretamente não só no crescimento, na estabilidade e na produtividade das lavouras, mas também nas relações biológicas entre plantas, insetos e microorganismos, favorecendo, ou não, a ocorrência de pragas e doenças, muitas vezes não previstas por meios tradicionais.

Considerando os desafios econômicos vividos pelo setor, e também a incerteza quanto à resposta do campo às mudanças climáticas, ferramentas tecnológicas tornam-se ainda mais necessárias no auxílio à previsibilidade das safras. Uma das tecnologias estudadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) é o *Monitoramento Agrometeorológico*. Ele consiste na coleta sistemática e contínua de dados meteorológicos que sejam capazes de, após processamento, produzir informações valiosas e em tempo real para os agricultores (Monteiro, Oliveira & Nakai, 2014).

Diversas etapas da prática agrícola podem ser beneficiadas pelo monitoramento agrometeorológico, desde o preparo do solo para a semeadura, até o melhor momento para irrigação e para defesa fitossanitária²³. Com isso, o primeiro elo da cadeia produtiva citrícola ganha mais produtividade e também previsibilidade, visto que boa parte da suscetibilidade inerente à prática pode ser controlada através da tecnologia.

Segundo o Rijks e Baradas (2000), já existia no final do milênio passado casos de países como o Sudão, Guadalupe (um pequeno arquipélago francês no Caribe), Austrália, entre outros, que realizaram grandes economias – na casa dos milhões – através da aplicação de sistemas de monitoramento agrometeorológico, principalmente na irrigação e no controle de pragas.

Tecnicamente, essas informações podem ser classificadas em três níveis:

1. Dados meteorológicos sem tratamento ou derivados de cálculos simples;
2. Aplicação dos dados anteriores à parâmetros específicos da cultura em questão;
3. Geração de ações de manejo correspondente às análises de segundo grau (Massruhá & Leite, 2017).

Segundo o último levantamento da EMBRAPA (2017) sobre o tema *Agroindústria 4.0*, o Brasil conta com diversos sistemas desse tipo em operação, disponibilizando informações do tipo 1 e 2. Diante disso, torna-se bastante interessante para um setor tão presente em solo nacional, como o citrícola, iniciar investimentos no último e mais desenvolvido tipo, o terceiro, responsável pela geração de ações de manejo.

²³ Conjunto de medidas adotadas pela agricultura a fim de se evitar a propagação de pragas e doenças.

Uma vantagem em termos de aplicação desses sistemas é de que seu principal veículo de distribuição é a *internet*, possuindo baixo custo atual, boa interatividade e integrabilidade (principalmente com recursos audiovisuais) e possibilidade diversas de aplicações. Sistemas como o *Agritempo*, disponibilizado através de uma parceria entre o Governo Federal e a EMBRAPA, pode servir como uma robusta base de dados para a implementação de um aplicativo mais avançado de monitoramento e intervenção da safra. Esse sistema provê informações sobre estiagem, precipitação acumulada, tratamentos fitossanitários, necessidade de irrigação, condições do solo, manejo, entre outras. Uma vez que o cinturão citrícola está concentrado em uma região de alto desenvolvimento tecnológico no Brasil (São Paulo), há menos barreiras quanto à criação e ao desenvolvimento de *softwares* capazes de tratar tais dados, oferecendo soluções proativas nessa área.

V.4.2 – Automatização de atividades rurais

A agricultura brasileira vem apresentando um ganho de produtividade substancial nos últimos anos, alcançando um aumento de 3,8% ao ano, entre 2000 e 2017, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019). Tal avanço, superior a média americana de 1,4% ao ano no mesmo período, colocou o país em terceiro lugar mundial em agroexportação, mas segundo a EMBRAPA (2019), trouxe também uma maior responsabilidade econômica, ambiental e social.

Ainda segundo o MAPA, os fatores que mais influenciaram esse crescimento significativo foram: as políticas setoriais, o aumento em investimentos, a abertura de mercados externos aos produtos nacionais e a adoção de novos sistemas de produção ainda mais tecnológicos. Desta forma, foi possível elevar também a demanda consumidora juntamente com a produtividade.

Outro fator importante, é a redução expressiva no número de moradores e trabalhadores da zona rural, fazendo com que o papel da tecnologia no campo seja ainda mais importante. Segundo a EMBRAPA (2019), para que o país possa acompanhar a crescente demanda agropecuária, com redução na massa trabalhadora rural e uma restrição no aumento das áreas cultivadas (graças às políticas ambientais), é fundamental o desenvolvimento digital do controle e monitoramento do processo produtivo agrícola.

Em seu relatório “Automação & Agricultura de Precisão”, a EMBRAPA lista como principal estratégia de digitalização e desenvolvimento do setor, a construção de polos de conhecimento e formação de competências que auxiliem na transformação tecnológica agrícola, a fim de se alcançar uma produção mais eficiente e ambientalmente consciente. Segundo a CitrusBR (2017), esses polos já existem e são bem estruturados próximo ao cinturão citrícola.

É justamente por esse ponto que boa parte da cadeia citrícola já se encontra automatizada, tendo inclusive a empresa “Citrícola Lucato” (um de seus representantes) ganhado o *Prêmio Automação 2018*, oferecido pela Associação Brasileira de Automação, como uma homenagem às práticas mais criativas e automatizadas em diversos setores.

No entanto, a automatização como ferramenta da *Indústria 4.0* não deve se limitar ao monitoramento e execução automatizada de atividades humanas. Ao ser aliada à coleta e análise de dados, essa tecnologia é capaz de desenvolver uma ampla gestão do agronegócio, integrando melhor sua cadeia. Além da tradicional otimização de tempo e matéria-prima, as ferramentas de gestão digitais podem reduzir as perdas de produção, aumentar a capacidade dos produtos e melhorar a qualidade de vida do trabalhador.

Como exemplo, a ferramenta PIMS (sigla do inglês *Plant Information Management Systems*), já difundida no meio industrial, vem sendo aplicada no campo através de empresas *agrotechs* como a TOTVS ²⁴. A PIMS permite não só todo o planejamento da safra (do plantio até a colheita), como também viabiliza o controle e a alocação eficiente das tecnologias do campo, otimizando o uso da terra, do capital, da mão-de-obra, e do próprio maquinário. Assim como em uma fábrica, o gestor citrícola passará a ter uma visão integrada de seus custos e recursos. Se trata de uma ferramenta que não só auxilia na produtividade do campo, mas também pode ser peça chave para a circularidade agrária.

A fim de criar um sistema semelhante, a EMBRAPA desenvolveu um grupo de pesquisa chamado *Rede de Agricultura e Precisão*. Com o objetivo de tornar o Brasil pioneiro no chamado *Agro4.0* (analogia à Indústria 4.0 no setor agrícola). A Rede utiliza de tecnologias como IoT, *Big Data*, drones, entre outras típicas da quarta revolução, para criar soluções de gestão no campo. Dessa forma, alguns produtos e serviços

²⁴ Segundo a EMBRAPA, a TOTVS é uma empresa brasileira de software, considerada a maior no desenvolvimento em sistemas de gestão do País.

desenvolvidos pela Rede podem incrementar a automação do setor citrícola, ajudando-o a obter uma gestão mais integrada. Como exemplos de tais tecnologias tem-se:

- Robô agrícola para coleta de dados massivos de solo;
- Sistema de medida de condutividade elétrica adaptável a diferentes implementos e para uso em culturas perenes;
- *Software* e rede de sensores sem fio para manejo de irrigação de precisão;
- Metodologias e equipamentos para determinação de estresses nutricionais de plantas;
- Análise de risco de infestação de plantas invasoras em culturas de milho (com adaptação para culturas cítricas).

V.4.3 – Sensores inteligentes para controle de processo industrial com foco na etapa de Envase

De acordo com as especificações retiradas do estudo de caso da *Citrino*, descrito por PEREIRA et al., 2018, o equipamento utilizado para o envase de suco de laranja, apenas para embalagens de 300mL, é uma envasadora semi-automática com 1,23m de comprimento, por 1,18m de largura e com 2,5m de altura. Ela operará com capacidade de 170 frascos por minuto.

Mesmo a empresa utilizando um equipamento automatizado para o envase, não há uma garantia precisa do controle operacional e/ou coleta e análise dos dados dessa etapa. Esse controle é fundamental na qualidade final do produto, sendo um ponto chave para a produtividade da planta, pois em um processo contínuo, o envase é considerado um dos maiores gargalos da produção de bebidas.

Nesse sentido, Prazias et. al. (2010) testaram o uso de um sistema supervisório²⁵, capaz de integrar o envase a todos os demais processos da planta, controlando as variáveis mais importantes que, até então, não eram medidas ou eram aferidas apenas de forma independente. Criado com o intuito de facilitar a visualização e operação dos processos, esse sistema conta com transmissores e indicadores de vazão e nível, e válvulas de controle pneumático.

²⁵ Sistemas que utilizam um software para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle conectados em um processo específico;

Visto que muitas fábricas já utilizam esses equipamentos, o sistema em questão tem como grande diferencial o uso inteligente dos dados coletados, de forma a integrar uma rede de comunicação totalmente digital entre os sensores, atuadores e controladores. A partir de uma rede local para automação, instrumentação e controle dos processos, tem-se de forma simplificada e segura a redução de ações humanas nessa etapa, fazendo com que as decisões tomadas sejam mais rápidas e com menos vieses. Além disso, por estar integrado ao processo como um todo, evita-se interferências pensadas pontualmente, geralmente desconectadas das demais etapas.

Os principais benefícios encontrados por Prazias et. al. (2010) nesse sistema digital foram a interoperabilidade²⁶, a coleta de dados mais completos, a obtenção de uma visão holística do processo, o ganho de segurança na planta e a facilidade de se compreender a necessidade de manutenção preventiva do equipamento. Além disso, aponta-se que, através da implementação completa de sensores inteligentes nas plantas (juntamente com o sistema de comunicação integrado) as indústrias podem se tornam mais flexíveis quanto a seu processo produtivo e, por isso, mais adaptáveis às mudanças de mercado. Nesta linha de raciocínio, destaca-se a capacidade de alterar o volume de produção ou, até mesmo, mudar a linha de produtos, passando, por exemplo, ao envase em outros tipos de embalagens (além da usual de 300mL, nesse caso), sem a necessidade de troca do equipamento principal.

Outro ponto fundamental para a indústria citrícola é o controle de qualidade de seus produtos finais. Com a instalação do sistema automático, o controle de abertura das válvulas da envasadora é aperfeiçoado, tendo-se maior confiança no volume dosado dos ingredientes e, por consequência, em sua especificação final.

Visto que este sistema pode ser expandido para a fábrica de forma geral, é possível criar diferentes alarmes, aumentando a coleta de dados e o volume dos controles utilizados, de forma a não gerar somente relatórios confiáveis de desempenho, mas também aumentar a produtividade e a confiabilidade da planta como um todo (Prazias et. al, 2010).

²⁶ Capacidade de um sistema de se comunicar de forma transparente com outro sistema.

V.4.4 – *Big data analysis* no planejamento da produção

Segundo Habitzreiter & Bamberg (2015) a aplicação de *Big Data analysis* na indústria pode ser definida como:

Uma estratégia tecnológica das companhias voltada para a busca de valor, profundidade e precisão das informações sobre seus clientes, parceiros e negócios. Ela tem como principal finalidade a conquista de alguma vantagem competitiva.

Nesse sentido, a *Big data analysis* se apresenta como uma ferramenta de *gestão*, capaz de abranger os pontos mais sensíveis da engenharia de produção, como o dimensionamento e o próprio desenvolvimento das atividades produtivas. Para Chien, Chuang e Walker (2014), essa ferramenta já é aplicada em grandes setores industriais, como a aeroespacial, automotivo, mineração, entre outros, podendo contribuir principalmente na definição do *layout* da produção, na identificação de falhas do processo, no gerenciamento da manutenção dos equipamentos e na gestão de estoque, tanto de produto acabado quanto de matéria-prima.

No contexto da produção de suco de laranja, e seguindo a aplicação dos sensores inteligentes para controle dos processos industriais, todas as contribuições definidas acima podem ser conquistadas através da utilização em conjunto dessas duas ferramentas; *big data* e sensores inteligentes. No que tange ao planejamento da produção, o processamento e análise de uma grande quantidade de dados em tempo real permite a melhor utilização de recursos – não só utilitários, mas também de equipamentos e de mão-de-obra – e do tempo (Smith, 2014), oferecendo uma maior previsibilidade de produção e adaptabilidade da planta às demandas.

Outro ponto fundamental ao planejamento é o gerenciamento dos estoques. Nessa etapa, a *big data analysis* é capaz de otimizar a gestão dos itens (matéria-prima, subprodutos, produtos acabados etc) e, caso haja rastreabilidade, pode definir a localização e o momento exato em que cada item deve ser utilizado. Com isso, não só evita-se perdas de estoque, como verifica-se em tempo real qualquer problema nessa cadeia. Ao conectar a planta com diferentes setores da empresa, como marketing e vendas, essas informações podem ainda auxiliar diretamente em sua estratégia de negócios (Habitzreiter e Bamberg, 2015).

Dessa forma, ao extrapolar o uso da ferramenta para fora das fábricas, e até da própria empresa, coletando e analisando dados do mercado, ganha-se uma capacidade de unir a estratégia fabril à de marketing e vendas. Com isso, mesmo sendo uma pequena empresa, a *Citrino* seria capaz de obter um panorama mais completo do mercado consumidor e adequar sua estratégia a fim de otimizar suas vendas, sem necessariamente investir em mudanças estruturais em sua fábrica (Habitzreiter e Bamberg, 2015).

V.5 – Propostas para implementação da Economia circular

A Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010). O §1° do Art. 1° dessa Lei diz que:

Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Ou seja, os órgãos geradores de resíduos sólidos são responsáveis por eles, sendo sujeitos às diretrizes da presente lei para dar devido tratamento a seus rejeitos.

Nesse contexto, segundo a PNRS, toda a cadeia produtiva é responsável pela destinação final ambientalmente adequada de seus resíduos, que inclui a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa); entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e minimização dos impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010; TEIXEIRA, 2016). Dessa forma, faz-se necessário o estudo do tratamento dos resíduos gerados na produção de qualquer produto.

Nesse sentido, os próximos tópicos irão abordar alguns meios de tratamento, já amplamente utilizados ou em fase de implantação, para os resíduos gerados no processo de produção do suco de laranja integral – que poderão ser acoplados ao processo

produtivo em estudo – aumentando sua sustentabilidade e circularidade, conforme prega a teoria da Economia Circular. As propostas descritas a seguir focam, em sua maior parte, no reuso e no reaproveitamento dos resíduos de matéria-prima da produção de suco, com objetivo de fabricação de produtos de maior valor agregado que servirão como insumos para outros setores industriais ou agropecuários.

V.5.1 – Produção de óleo essencial

Os óleos essenciais são substâncias lipossolúveis, voláteis e que fazem parte do metabolismo secundário das plantas – aquele que não está diretamente relacionado com seu crescimento, desenvolvimento e reprodução. São produzidos por estruturas secretoras especializadas, como: glândulas, canais oleíferos, bolsões, ou células parenquimáticas diferenciadas; podendo estar, ou não, presentes em todas as partes dos vegetais (AZAMBUJA, 2011).

O Brasil tem destaque na produção de óleos essenciais e, ao lado da Índia, China e Indonésia, é considerado um dos quatro maiores produtores mundiais (PEREIRA et al., 2018). A indústria do óleo essencial de laranja brasileira teve seu crescimento acelerado no período da Segunda Guerra Mundial, quando o Brasil passou a fornecê-lo para os EUA, que buscavam alternativas para o elevado consumo de solventes utilizados por suas indústrias de plásticos, tintas e vernizes. Como o óleo de laranja é rico em *d-limoneno* – considerado um solvente biodegradável – tais indústrias passaram a obtê-lo como uma segunda opção frente à escassez dos solventes químicos tradicionais. Mais tarde, na década de 1960, com a instalação de fábricas de sucos concentrados no Brasil, a produção de óleo essencial de laranja se intensificou ainda mais, alavancando definitivamente as exportações brasileiras (AZAMBUJA, 2011).

Os derivados do óleo essencial de laranja podem ser utilizados como essências para perfumes, aditivos para sabonetes e no setor farmacêutico em geral, já que o *d-limoneno* contém propriedades que auxiliam no tratamento de diversas doenças, tais como: depressão, cálculos na vesícula, distúrbios do fígado e alguns tipos de câncer. Além de também poderem ser aplicados na formulação de materiais de limpeza e no setor alimentício, como agentes flavorizantes e conservantes (AZAMBUJA, 2011).

Grandes empresas do setor de cosméticos também utilizam óleos essenciais em suas formulações, visando o lançamento de produtos mais sustentáveis e menos

agressivos à pele. Um exemplo disso é empresa brasileira Natura, que no primeiro semestre de 2018 conseguiu alcançar uma média de 84% de seus produtos contendo ingredientes naturais, além de ser pioneira no uso de ativos da biodiversidade brasileira em produtos cosméticos, com a marca EKOS (NATURA, 2018). Devido a isso, a marca recebeu em junho de 2018 o selo UEBT²⁷ (União para o Biocomércio Ético), que confirma que todos os ingredientes de origem vegetal de suas formulações passaram por um sistema que avalia princípios e práticas que garantem a manutenção dos ecossistemas terrestres, repartição justa dos benefícios pelo uso da biodiversidade e do conhecimento tradicional associado, respeito pelas condições de trabalho, geração de renda e desenvolvimento local, entre outros pontos (COSMETIC INNOVATION, 2018).

Na laranja, o óleo essencial está localizado na zona externa do pericarpo²⁸, sendo normalmente extraído pelo método de prensagem a frio, no qual é necessária, em média, 1 tonelada da fruta para se obter de 3 a 5 quilogramas de óleo. Ou seja, um rendimento de extração que gira em torno de 0,4% (AZAMBUJA, 2011; SILVA, 2002). Além disso, como esse óleo é rico em monoterpenos²⁹ (90% d-limoneno, 3% mirceno, 1% α -pineno, 0,5% sabineno), tendendo a deteriorar-se rapidamente quando mal armazenado, as indústrias normalmente realizam um processo de re-destilação a vácuo³⁰, de forma sucessiva, a fim de resolver o problema e aumentar a vida útil do produto (AZAMBUJA, 2011). Desse modo, é importante a utilização da maior quantidade de resíduo de fruta gerado na produção de suco de laranja, a fim de elevar os rendimentos de produção de óleo essencial, que possui alto valor agregado no mercado internacional, com valores anuais de exportação de U\$\$ 167.365.338 (FOB) e de importação de U\$\$ 2.758.859 (FOB) – valores referentes ao ano de 2019 (MDIC, 2020).

²⁷ UEBT é uma organização sem fins lucrativos, criada após uma iniciativa da Unctad (Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento) para promover o uso de ingredientes naturais, respeitando as pessoas e a biodiversidade durante seu processo de extração (COSMETIC INNOVATION, 2018).

²⁸ *Pericarpo* é a parede de um ovário maduro, formada pelo epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo, e que constitui o próprio fruto, excluindo as sementes.

²⁹ *Monoterpenos* são hidrocarbonetos cíclicos (C₁₀H₁₆), normalmente utilizados na área de perfumaria e como aromatizante de alimentos.

³⁰ *Re-destilação a vácuo*, ou desterpenização, ou *folding*, é o processo que reduz a fração terpênica do óleo essencial, ao mesmo tempo em que concentra sua fração oxigenada, que é responsável pelo aroma e sabor. Feito isso, o óleo passa a ser classificado por seu “fold”. Um óleo de laranja 2 fold é o resultado da retirada de 50% do total de terpenos presentes no óleo bruto. O óleo 3 fold é obtido a partir do próprio óleo 2 fold, ao qual são retirados mais 50% dos terpenos presentes. E assim sucessivamente. Atualmente, o óleo de laranja 5 fold é o mais utilizado pela indústria (AZAMBUJA, 2011).

Essa balança favorável à possibilidade de ampliação da produção nacional para a exportação, baseada nos dados de importação mostrados, ressalta que, além do aumento da sustentabilidade do processo, a produção de óleo essencial de laranja a partir dos resíduos de matéria-prima de produção do suco geraria um considerável retorno financeiro à fábrica produtora, sendo um caminho eficiente avaliado segundo a teoria da Economia Circular.

V.5.2 – Produção de ração animal

O bagaço de laranja é um dos resíduos da produção industrial de suco, juntamente com a casca e a semente, podendo ser aproveitado das seguintes formas: *in natura*, peletizado ou ensilado. A composição química desses produtos apresenta variações de acordo com o tipo de processamento ao qual foram submetidos, local de produção, origem e variedade das frutas (PEGORARO et al., 2012). A Tabela V.5 mostra um comparativo das composições para esses três tipos de polpa de citrus.

Tabela V.5 – Composição química da polpa de citrus *in natura*, peletizada e da silagem da polpa, expressa em % de matéria seca (MS), segundo alguns autores

Nutrientes	Alimentos		
	Polpa de citrus <i>in natura</i>	Polpa de citrus peletizada	Silagem de Polpa de citrus
MS	47,83	88,40	13,97
MO	-	91,75	95,45
PB	7,13	6,50	8,48
EE	5,99	2,14	3,16
FDN	19,64	19,77	23,94
FDA	16,03	25,90	24,58
NDT	-	84,87	-
Autores	Valadares Filho et al. (2006)	Prado et al. (2000) Manzano et al. (1999)	Itavo et al. (2000)

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; NDT: nutrientes digestíveis totais.

Fonte: VALÉRIO (2007)

Cerca de 50% do peso da laranja é formado pela casca e pelo bagaço – seus principais resíduos. Assim, com uma produção nacional girando em torno de 17 milhões de toneladas por ano (MAPA, 2018), é possível estimar um montante de cerca de 9 milhões de toneladas de resíduos de laranja produzidos nesse mesmo período (LIMA et al., 2017). A polpa cítrica, formada em sua maior parte por bagaço, é obtida na etapa de extração do suco após duas prensagens, que restringem sua umidade em torno de 65 a 75%. Se levada ao processo de secagem, resulta em até 90% de matéria seca (PEGORARO et al., 2012).

O bagaço e a casca, formadores da polpa cítrica, são subprodutos pobres em proteína, possuindo baixo valor biológico. No entanto, são subprodutos de grande valor energético, podendo substituir, com vantagem econômica, os grãos na alimentação de ruminantes, desde que isso seja feito de forma equilibrada. Contém ainda, baixos níveis de fósforo, magnésio, enxofre e sódio; sendo ricos em ferro (LIMA et al., 2017). Como a nutrição dos animais representa grande parte do custo da produção de leite, os produtores estão sempre em busca de alimentos alternativos para a alimentação de bovinos, em substituição ao milho, tradicionalmente utilizado como fonte de energia para bovinos leiteiros (EDUCAPOINT, 2019). Nesse sentido, a polpa cítrica se torna uma boa opção.

De acordo com NOTÍCIAS AGRÍCOLAS (2018), os pecuaristas da região norte do estado de São Paulo, grande produtora de suco de laranja no Brasil, já utilizam o bagaço fresco como complemento na alimentação bovina, sobretudo em épocas de poucas chuvas, quando o pasto tem menor qualidade. Entretanto, devido à elevada capacidade de retenção de umidade, pela alta presença de pectina, a polpa cítrica *in natura* tem um tempo de vida útil curto, exigindo alguns cuidados para sua armazenagem nas fazendas, como locais secos e bem ventilados, que permitem armazenar o produto por até seis meses (EDUCAPOINT, 2019).

Uma alternativa a isso é o processo de ensilagem, que consiste na compactação da polpa cítrica *in natura* e demais materiais (culturas agrícolas forrageiras³¹, milho, resíduos agroindustriais, etc.) em silos com fechamento hermético, que favorecem a fermentação, estendendo assim o período de armazenamento do bagaço em até 60 dias, gerando um produto para incorporação de volume à ração animal (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2018). Contudo, devido aos altos níveis de umidade e de carboidratos fermentáveis, o bagaço da laranja não é um material adequado para ser conservado na forma de silagem, já que essas características, associadas às altas temperaturas e a um tempo de armazenamento prolongado, promovem o crescimento de fungos que levam a degradação aeróbia do material, podendo produzir toxinas que afetam a saúde e o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (PEGORARO et al., 2012). Para tanto, o uso de diferentes aditivos na ensilagem de subprodutos da indústria de suco de laranja, como o hidróxido de cálcio e o óxido de cálcio, pode melhorar significativamente a

³¹ Culturas forrageiras são culturas de plantas herbáceas de ciclo vegetativo anual destinadas à alimentação animal por norma cortadas na forma de erva verde ou conservadas sob a forma de silagem ou feno-silagem.

qualidade do material ensilado, tendo como objetivo garantir que as bactérias lácticas dominem a fermentação, resultando em uma silagem bem conservada (SANTOS et al., 2001).

Outra forma de utilização da polpa cítrica na alimentação animal é a peletizada, na qual o farelo é obtido por meio do tratamento dos resíduos sólidos e líquidos remanescentes da extração do suco – destacando-se a polpa, as sementes e as cascas da laranja – (MARTINI, 2009) e armazenados na forma de pellets (pequenos cilindros do produto concentrado); processo esse que retira a umidade e reduz o volume do material (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2018). Tal procedimento resulta num subproduto com elevada concentração de cálcio, devido à necessidade de adição de hidróxido de cálcio durante a etapa de secagem (RODRIGUESs et al., 2008).

A polpa cítrica peletizada (PCP) é um alimento concentrado e energético, caracterizado pela alta digestibilidade da matéria seca. Estudos realizados com bovinos avaliaram a degradabilidade ruminal da polpa cítrica, concluindo que é rápida e extensivamente degradada no rúmen³², sendo que sua digestibilidade de matéria seca varia entre 78 % e 92 %; a digestibilidade da matéria orgânica entre 83 % e 96 %; e a digestibilidade da proteína bruta entre 40 % e 65 % (PEGORARO et al., 2012). Além disso, uma pesquisa desenvolvida pela Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) vem estudando a adição da PCP ao bagaço no processo de ensilagem, visando aumentar os teores de matéria seca, facilitando assim a fermentação láctica pelos micro-organismos (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2018).

De acordo com Teixeira et al. (2009), além da forma peletizada seca, há ainda interesse das empresas em desenvolver mercados para a polpa úmida, com matéria seca entre 15 e 20%, visto que o investimento em secadores pode chegar a 50% do investimento total de uma fábrica de processamento de suco. Segundo os autores, uma das dificuldades na utilização da forma *in natura* é a necessidade de proximidade à indústria, já que o alto teor de umidade permite que pouca matéria seca seja disponibilizada ao produtor na compra deste produto. Caso contrário, torna-se indispensável a estocagem dela sob a forma de silagem.

³² Rúmen, ou pança, é o primeiro compartimento do estômago dos ruminantes.

Nussio et al. (2000) verificaram que a adição de polpa cítrica em dietas de vacas leiteiras que continham amido de baixa, média e alta degradabilidade, aumentou a produção de leite, quando adicionada às dietas com média e alta degradabilidade ruminal. Sendo assim, Santos (1999) sugeriu adição de polpa cítrica em dietas que possuem excesso de amido degradável no rúmen. Todavia, a palatabilidade da polpa cítrica é variável, pois ela pode apresentar um sabor amargo, devido à limonina e outros compostos presentes nas sementes e nas cascas, o que pode resultar em uma diminuição na ingestão, caso a polpa seja rapidamente introduzida na dieta dos animais. Por essa razão, recomenda-se uma introdução progressiva (PEGORARO et al., 2012).

Ainda de acordo com PEGORARO et al. (2012), diversas pesquisas estão sendo realizadas objetivando a inclusão de bagaço de laranja em rações de animais como bovinos, ovinos, aves de corte, suínos e coelhos. Contudo, o bagaço é mais empregado na alimentação de bovinos, apresentando bons resultados, associados ao baixo valor econômico do resíduo e ao seu alto valor nutricional.

Com a safra de laranja sendo iniciada em maio e terminando em dezembro, a época de produção é favorável, pois coincide com a entressafra de grãos como o milho e sorgo. Portanto, isso se apresenta como vantagem aos pecuaristas, que podem utilizar desse suplemento energético nos meses em que o milho atinge a cotação máxima (SCOTON, 2003). Como já dito, a utilização deste subproduto contribui para reduzir o custo de produção, entretanto o produtor deve estar sempre atento às variações dos preços do milho e da polpa cítrica nas diferentes épocas do ano. Outro fator relevante é a capacidade de armazenamento da polpa cítrica na propriedade, uma vez que trata-se de um subproduto que se encontra disponível no mercado apenas em determinado período do ano, porém podendo ser utilizado na alimentação do rebanho o ano todo (EDUCAPOINT, 2019).

Nesse contexto, PEGORARO et al. (2012) conclui que a polpa cítrica, por ser um alimento de alto teor energético, é um subproduto industrial de expressivo valor econômico para a alimentação animal, sobretudo de ruminantes e, em especial, de gado leiteiro. Além disso, o efeito da sazonalidade da produção de insumos energéticos (milho, sorgo, etc.) poderia ser atenuado, ou eliminado, com a utilização dos subprodutos cítricos nos períodos críticos, concorrendo para elevar os índices produtivos da pecuária nas

regiões de alta produtividade no país. Isso torna o aproveitamento desses resíduos um caminho sustentável e colaborativo com o setor agropecuário.

V.5.3 – Produção de energia

No contexto da Química Verde, que também se conecta aos pilares da Economia Circular, prega-se a substituição das matérias-primas tradicionais (geralmente poluentes) por insumos derivados de biomassa. Sendo assim, um combustível ainda pouco conhecido, porém com potencial de substituição de combustíveis fósseis, como o petróleo, surge como alternativa para destinação de resíduos de matéria orgânica gerados principalmente pela indústria de alimentos. O Bio-óleo é um combustível orgânico, renovável e derivado do processamento de resíduos agrícolas e florestais. De coloração negra e odor característico, é obtido com alto rendimento a partir do processo de pirólise ou degradação térmica acelerada (COLLARES, 2011).

Em outras palavras, o bio-óleo é a transformação da biomassa feita a partir da queima desse material por um método denominado pirólise rápida, em que ocorre a conversão termoquímica da biomassa, podendo ser utilizado como combustível para a geração de energia termoeletrônica (RODRIGUES, T., et al., 2011). Além disso, o bio-óleo pode ser usado também como insumo químico para resinas e aditivos como fungicidas. Outra aplicação, porém ainda em fase de estudo, é seu uso para a produção de gás de síntese, utilizado na fabricação de fertilizantes, combustíveis e derivados semelhantes ao do petróleo (COLLARES, 2011).

A Embrapa Agroenergia (Brasília/DF), unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, produziu bio-óleo utilizando madeira de eucalipto com o processo de pirólise rápida, que também pode ser fabricado a partir de quase todos os tipos de materiais orgânicos. Entre as matérias-primas testadas pela Embrapa Agroenergia, o bagaço de laranja e a madeira de eucalipto foram as melhores biomassas para produção de bio-óleo e de carvão vegetal (COLLARES, 2011). Segundo a Embrapa, o Bio-óleo rende até 60% em massa comparativamente à matéria-prima usada, ou seja, uma tonelada de serragem pode render até 600 kg de Bio-óleo. A substituição de óleo combustível BPF

³³, derivado de petróleo, gera energia elétrica e emite menos gases de efeito estufa (COLLARES, 2011).

As principais desvantagens do uso de Bio-óleo como combustível são a baixa volatilidade, a alta viscosidade, a formação de coque e a corrosividade; o que limita seu uso para queima em motores a diesel. Entretanto, o Bio-óleo tem sido utilizado com sucesso em caldeiras e turbinas modificadas (BRLINS et al., 2008), sendo um importante agente na geração de vapor e energia para plantas indústrias, colaborando para o aumento de sua eficiência energética de modo sustentável.

V.6 – Integração da cadeia de produtiva

Através da análise dos impactos que a inovação pode ter sobre a cadeia produtiva, tanto no que tange as tecnologias da Indústria 4.0, quanto às práticas de circularidade econômica, percebe-se que, para ganhar competitividade, eficiência e sustentabilidade ao mesmo tempo, é preciso não só incorporar as novas tecnologias digitais em seus processos, mas também alterar a cultura e a gestão dos negócios da empresa.

Dessa forma, o desempenho das complexas cadeias agroindustriais pode ser alavancado por meio de maior eficiência produtiva, aliada a um melhor padrão de qualidade de produtos, menores custos de produção e logística e maior garantia de longevidade do negócio, ao torna-lo adaptável ao mercado e sustentável com o meio ambiente e com a sociedade.

Empresas líderes desse setor, como a *Louis Dreyfus Company*, já abraçam indicadores de desempenho que incluem: pegada de carbono, desperdício de água, desperdício de matéria-prima (frutas) e o bem estar dos colaboradores em *todas* as etapas de sua cadeia produtiva, desde a origem no campo até a venda ao consumidor final. Isso demonstra uma tendência positiva de tornar o negócio citricultor mais sustentável, em todos os seus sentidos: econômico, ambiental e social (LDC, 2018).

A integração da cadeia de produção, desde o plantio até a distribuição e exportação do produto acabado é de extrema importância para o ganho de eficiência da produção e para a garantia da circularidade do processo, mantendo a conexão entre produtores rurais,

³³ Óleo BPF é um óleo combustível derivado de petróleo, de baixo ponto de fluidez, também chamado óleo combustível pesado ou óleo combustível residual, é a parte remanescente da destilação das frações do petróleo, designadas de modo geral como frações pesadas, obtidas em vários processos de refino.

indústrias de transformação, fornecedores de matérias-primas industriais, distribuidores e revendedores. Com isso, existe uma possibilidade de melhoria no controle da produção de forma mais efetiva, para um melhor atendimento às demandas específicas do mercado, aumentando assim a flexibilidade na cadeia e a eficiência da rastreabilidade dos produtos produzidos.

V.7 – Conclusão

Conforme avaliado no presente estudo de caso, a incorporação de tecnologias da Indústria 4.0, como *big data analysis*, sensores inteligentes, controle digital de safra, etc., ao processo produtivo da Citrino e à cadeia produtiva citrícola como um todo, agregaria maior eficiência, agilidade e segurança às etapas de produção do suco de laranja integral. Isso, somado às propostas de aproveitamento dos resíduos de matéria-prima gerados no decorrer do processo, tanto para a produção de energia, como para o desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, como óleo essencial e polpa cítrica para ração animal, têm a possibilidade de aumentar a autonomia da fábrica tornando-a mais sustentável e mais integrada com o restante da cadeia produtora citrícola, sendo um diferencial no mercado, se destacando assim perante seus concorrentes.

O infográfico da Figura V.7 compila alguns dos indicadores de circularidade mais trabalhados nesse estudo, com as ferramentas digitais da Indústria 4.0, propostas como intervenção na *Citrino*. Nele, é possível ver quais tecnologias sugeridas auxiliam no atingimento de cada indicador. Vale ressaltar que: “Consumo de Utilidades” foca no consumo de água e energia; “Geração de Resíduos” inclui também todos os sub-produtos produzidos no processo; “Produto Final” avalia maior qualidade e menores impactos ambientais desse produto; “Rastreabilidade” refere-se tanto ao produto final quanto à matéria-prima utilizada na fabricação do suco.

Figura V.6 – Infográfico: tecnologias digitais e os indicadores de circularidade



Fonte: Autoria própria

A partir da avaliação qualitativa dos indicadores, é possível inferir que ambas as estratégias (Indústria 4.0 e Economia Circular), quando combinadas, podem se potencializar, indicando sua possível confluência em um único modelo de negócio; eficiente e circular. Uma análise mais aprofundada e com foco quantitativo, seria necessária para corroborar e certificar, em termos práticos, que tais tecnologias atendem de forma economicamente viável tais critérios de circularidade, ficando como sugestão para futuros trabalhos nessa área.

Capítulo VI

Considerações Finais

Compreender se as correntes da Indústria 4.0 e da Economia Circular, quando aplicadas na indústria, caminham para uma estratégia convergente ou não mostra-se bastante relevante no contexto atual de transformação do setor industrial. Dessa forma, a partir do que foi discutido no presente trabalho e ao analisar a origem e aplicabilidade desses conceitos, nota-se ser possível uma sobreposição entre eles, fazendo com que seja possível harmonizá-los em um único modelo de gestão. Nesse sentido, como já discutido, as tecnologias digitais e mudanças de cultura empresarial trazidas pela Indústria 4.0 podem inclusive potencializar a circularidade da economia, de formas antes não imaginadas pelo setor.

Por outro lado, entende-se também, que não se trata de um caminho natural o ganho em sustentabilidade a partir da adoção dessas tecnologias revolucionárias. Caso não haja uma preocupação ambiental e/ou social por parte de quem as utiliza, essas disrupções industriais podem inclusive agravar os problemas ambientais e sociais, devido ao aumento da produção, à potencialização da geração de mais resíduos e à diminuição da necessidade de mão-de-obra humana para determinadas atividades. Portanto, não é porque as tecnologias 4.0 promovem um aumento da eficiência dos sistemas produtivos, que necessariamente reduzirão o consumo ou o descarte desses resíduos e o uso eficiente de matérias-primas e utilidades industriais. Isso ainda dependerá da visão de negócio e da cultura socioambiental da empresa, que deverá ser um dos principais indicadores de avaliação do comprometimento com uma produção sustentável e circular.

Acredita-se que a quarta revolução industrial venha para mudar o *modus operante* não só das indústrias, mas da sociedade como um todo. No entanto, é preciso manter atenção às políticas públicas e aos novos modelos econômicos, para que esse novo padrão de produção caminhe de encontro a uma mudança de paradigma no consumo e na forma de se lucrar na economia. E que ambos sejam feitos de forma consciente e sustentável, para garantir o futuro das novas gerações em nosso planeta.

Referências Bibliográficas

ALICKE, K.; REXHAUSEN, D.; SEYFERT, A. – Supply Chain 4.0 para bens de consumo – 2017. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods/pt-br/>>. Acesso em: 4 mar. 2018.

ARAÚJO, T. D. de; QUEIROZ, A.A.F.S.L. – Economia Circular: breve panorama da produção científica entre 2007 e 2017. XIX Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente (ENGEMA) – 2017. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/417.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

AZAMBUJA, WAGNER. Óleos Essenciais: O Início de sua História no Brasil – 2011. Disponível em: <<https://www.oleosessenciais.org/oleo-essencial-de-laranja-doce/>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

BAMPIDIS, V. A.; ROBINSON, P. H. Citrus by-products as ruminant feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v. 128, p. 175-217, 2006.

BERARDI, P.; DIAS, J.M. O Mercado da Economia Circular: como os negócios estão sendo afetados pelo modelo que substitui o linear e como serão ainda mais a médio e longo prazos. *GVEXECUTIVO*, v. 17, n. 5, p. (34-37), set/out, 2018.

BERNSTEIN, W. J. Uma Breve História da Riqueza. 1ª ed. Curitiba: Fundamento, 2015.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASKEM. Como a Economia Circular muda a maneira que consumimos – 2018. Disponível em: <<https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/como-a-economia-circular-muda-a-maneira-que-consumimos/>>. Acesso em: 22 jul. 2019.

BRTENS, c., PISKORZ, J.; BERRUTI, F. Biomass valorization for fuel and chemicals production - a review. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* [online], v. 6, nº 1, 2008.

CE100 BRASIL – CIRCULAR ECONOMY 100. UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: Uma abordagem exploratória inicial. Ellen MacArthur Foundation: 2017.

Disponível em:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2019.

CHARNIAK, E.;McDERMOTT, D. Introduction to artificial intelligence. Boston: Editora Pearson, 1985.

CHESBROUGH, H. W. Open Innovation. Massachusetts: Harvard Business school press, 2003.

CHUNYANG YU, XUNYANG; XUN XU; YUQIAN LU. *Computer-Integrated Manufacturing, Cyber-Physical Systems and Cloud Manufacturing – Concepts and relationships*. Manufacturing Letters. v.6. p. 5-9, out. 2015.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira. SONDA GEM ESPECIAL. Brasília, v.66, n. 2, p. (1-13), abril, 2016.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Investimentos em Indústria 4.0. Brasília: 2018. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/8b/0f/8b0f5599-9794-4b66-ac83-e84a4d118af9/investimentos_em_industria_40_junho2018.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2019.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Empregos do futuro serão intensivos em educação. Revista ÉPOCA Negócios, 2019. Disponível em: <https://epoca.globo.com/economia/empregos-do-futuro-serao-intensivos-em-educacao24033647?utm_source=facebook&utm_medium=glab&utm_campaign=cni>. Acesso em: 22 out. 2019.

COELHO, M.; TERRA, L. Geografia geral e do Brasil. v. único. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.

COFECON – CONSELHO FEDERAL DE ECONOMIA. Revoluções industriais: do vapor à Internet das coisas. Brasília: 2016. Disponível em: <<http://www.cofecon.gov.br/2016/10/13/revolucoes-industriais-do-vapor-a-internet-das-coisas/>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

COLARES, D.G. Florestas Energéticas e Resíduos são fontes de bio-óleo e biocarvão. 2011. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37566/1/FlorestasEnergeticas-Dani.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

COSMETIC INNOVATION. Natura Ekos terá selo UEBT nas embalagens a partir de setembro. São Paulo: 2018. Disponível em: <<https://www.cosmeticinnovation.com.br/natura-ekos-trara-selo-uebt-nas-embalagens-a-partir-de-setembro/>>. Acesso em: 2 jan. 2020.

CUPERSCHMID, A. R. M.; Ruschel, R. C.; MARTINS, F. A. Uso da realidade aumentada para visualização do modelo da edificação. Encontro de tecnologia de informação e comunicação da construção. Salvador. 5 de agosto de 2011.

DANTAS, T. E.; HAMMES, G.; SOUZA, E. D.; CAMPOS, L. M.; SOARES, S. R. Convergências entre as práticas da Indústria 4.0 e os princípios da Economia Circular.

Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente. Santa Catarina. Dezembro de 2018.

DELOITTE. The Digital Revolution: Mining starts to reinvent the future. Sidney: Deloitte. 2017.

DORNELAS, J. C. A.; Empreendedorismo: Transformando idéias em Negócios: 1 ed. São Paulo: LTC, 2001.

EDUCAPOINT. Uso de polpa cítrica na alimentação de ruminantes. Campinas: 2019. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/educapoint/uso-de-polpa-citrica-na-alimentacao-de-ruminantes-217302/>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA BRASILEIRA. Matriz Energética e Elétrica. Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

FILHO, Hayrton R. P. Entenda melhor o que é a manufatura aditiva (MA); fev. 2019. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/01/01/entenda-melhor-o-que-e-a-manufatura-aditiva-ma/>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management, Stockholm, 91, 1-21, Junho 2019.

FRANCO, Ana S. M. *O suco de laranja brasileiro no mercado global*. Análise Conjuntural. v.38. n.11-12, nov./dez. 2016.

GIORDANO, Caio Mezzeti; DE SENZI ZANCUL, Eduardo; PICANÇO RODRIGUES, Vinícius. Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 499-523, jun. 2016. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1963>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

GOMES, D. S. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. Revista Olhar Científico, Ariquemes, v. 1, n. 2, p. 234-246, ago./dez, 2010. Disponível em: <<http://www.olharcientifico.kinghost.net/index.php/olhar/article/view/49/37>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

HEIKKILA, L. et al. Elements affecting food waste in the food service sector. Waste Management, Helsinki, jun. 2016.

HEIMANS, J.; TIMMS, H. Understanding “New Power”. Harvard Business Review, Brighton, dez. 2014. Disponível em: <<https://hbr.org/2014/12/understanding-new-power>>. Acesso em: 14 set. 2019.

IKENAMI, Rodrigo Kazuo. *A abordagem "ecossistema" em teoria organizacional: fundamentos e contribuições*. 2016. 152f. *Dissertação de Mestrado* – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

ITO, N. C. et al. Valor e vantagem competitiva: buscando definições, relações e repercussões. *Revista de Administração Contemporânea*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 290-307. mar./abr 2012. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/rac> . Acesso em: 28 ago. 2019.

JABBOUR, A. B. L. S. et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, v. 270, n. 1-2, p. 273-286, 2018

KIEL, D. et al. – SUSTAINABLE INDUSTRIAL VALUE CREATION: BENEFITS AND CHALLENGES OF INDUSTRY 4.0 – *International Journal of Innovation Management* – University of New England – 30, Novembro, 2017 – 1740015 – p. (1-34).

LIMA, V. F.; ARAÚJO, L. F.; AGUIAR, E. M.; COELHO, R. R. P. Processos biotecnológicos aplicados ao bagaço de laranja para redução dos custos na alimentação animal. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, Ponta Grossa, v. 11, n. 2: p. 2466-2483, jul./dez. 2017.

MARTINI, P.R.R., 2009. Conversão pilórica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos. *Sistema De Publicação Eletrônica De Teses E Dissertações - Biblioteca Digital de Teses e Dissertações*.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 Projeções de longo prazo* – Secretaria de Política Agrícola. Brasília: 2018.

MALAGUTI, C. *Requisitos Ambientais para o desenvolvimento de produtos*. São Paulo: CSPD – Centro São Paulo Design, 2005.

McCARTHY, John. What is artificial intelligence? Computer Science Department, Stanford University, Stanford. p. 1 – 14, nov. 2004. Disponível em: <<http://www-formal.stanford.edu/jmc/>>. Acesso em: 14 set. 2019

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. *Agenda brasileira para a Indústria 4.0*. Brasília: 2019. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. *Exportação e Importação Geral*. Brasília: 2020. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 2 jan. 2020.

NATURA. *Priorizar ingredientes naturais evita pôr em risco o equilíbrio do planeta*. São Paulo: 2018. Disponível em:

<<https://www.natura.com.br/blog/sustentabilidade/priorizar-ingredientes-naturais-evita-por-em-risco-o-equilibrio-do-planeta>>. Acesso em: 2 jan. 2020.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. Ensilagem do bagaço de laranja proposta pela APTA é alternativa para o produtor de gado. Campinas: 2018. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/boi/218782-ensilagem-do-bagaco-de-laranja-proposta-pela-apta-e-alternativa-para-o-produtor-de-gado.html#Xg-sxGN7lEb>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

NUSSIO, C. M. B.; SANTOS, F. A. P.; PIRES, A. V.; et al. Efeito do processamento do milho e sua substituição pela polpa de citrus peletizada sobre consumo de matéria seca, produção e composição do leite de vacas em lactação; Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, XXXVII, 2000.

OLIVEIRA, F. R.; FRANCA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 20, n. 4, p. 1179-1193, Dez. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1518-70122019000401179&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 ago. 2019

OSORIO, R. M. L.; LIMA S. M. V.; SANT'ANNA R. L.; CASTRO A.M. G. Demandas tecnológicas da cadeia produtiva de laranja no Brasil. Latin American Journal of Business Management, v. 8, n. 2, p. 40-66, 2017. Disponível em: <<https://lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/425>>. Acesso em: 28 ago. 2019

PEGORARO, J.; SALEM, N. F. M.; SANTOS, J. M. G.; ANDREAZZI, M. A. Uso do bagaço da laranja na alimentação animal; VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica – Centro Universitário de Maringá; Maringá, 2012.

PEREIRA, I. B. T. et al. – Indústria de Suco de Laranja Integral. 2018. 165f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018.

PIEDRAHITA, T. Para se deliciar: sucos com gostinho do Paraná, 2016. Disponível em: <<https://www.negociosrpc.com.br/deolhonomercado/economia/para-se-deliciar-sucos-com-um-gostinho-do-parana/>>. Acesso em: 26 de dez 2019.

PORTER, M. E. Competitive Advantage. Nova York: The free press, 1985.

RAJKUMAR, R.; LEE, I.; SHA, L; STANKOVIC, J. Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution; In: DESIGN AUTOMATION CONFERENCE, 47., 2010, Anaheim, Proceedings of the 47th Design Automation Conference, Anaheim, 2010.

RODRIGUES, G. H.; SUSIN, I.; PIRES, A. V. et al. Substituição do milho por polpa cítrica em rações com alta proporção de concentrado para cordeiros confinados. 2008. Cienc. Rural vol.38, No.3, Santa Maria, May/June 2008.

RODRIGUES, T.O.; ROUSSET, P.; VALE, A.T.; BROUST, F. Bioóleo: uma alternativa para valorização energética da biomassa. *Revista Brasileira de Energia*, Vol. 17, Nº.2, 2ª Sem. 2011, pp. 39-56.

RODRIGUES, V. P. et al. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 1, set. 2017. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1657>>. Acesso em: 14 set. 2019.

ROSENDO, I. V. Economia Circular no Setor dos Alimentos & Bebidas: O caso do Canal HORECA. 2018. 122. Dissertação de mestrado – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

SANTOS, F. A. P. *Efeito de fontes proteicas e processamento de grãos no desempenho de vacas de leite digestibilidade de nutrientes*, Tese de livre Docência, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros - Universidade de São Paulo, 1999.

SANTOS, G.T.; ÍTAVO, L.C.V.; MODESTO, E.C. et al. Silagens alternativas de resíduos agro-industriais. Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas (2001 – Maringá) Anais do Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas / Editores Clóves Cabreira Jobim, Ulysses Cecato, Júlio César Damasceno e Geraldo Tadeu dos Santos. – Maringá : UEM/CCA/DZO, 2001. 319P.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.

SCOTON, R. A. *Substituição do milho moído por polpa cítrica peletizada e/ou raspa de mandioca na dieta de vacas leiteiras em final de lactação*, Tese de Mestrado em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros - Universidade de São Paulo, p. 68, 2003.

SHELDON, R. A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. *Green Chemistry*, v. 19, n. 1, p. 18–43, 2016.

SILVA, A., *Análise Técnica, Econômica e de Tendências da Indústria Brasileira de Óleos Essenciais*, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, G; DACORSO, A. L. R. Inovação Aberta como uma Vantagem Competitiva para a Micro e Pequena Empresa. *Revista de Administração e Inovação*, v. 10, n. 3, out. 2013.

SILVA, J. B.; PAULILLO, L. C. *Biologia Sintética: possibilidades e desafios*. *Revista da Biologia*. V. 14, n. 1, p. 33-39, 2015.

SILVEIRA, C. B. – O Que é Indústria 4.0 e Como Ela Vai Impactar o Mundo – 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

SKOBELEV, D. P.; BOROVNIK, D. S. On the way from industry 4.0 to industry 5.0: from digital manufacturing to digital society. *International scientific journal “industry 4.0”*, v.

6, n. 2, p. 307-311, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-019-09921-1>>. Acesso em: 14 set. 2019.

STAL, Eva; NOHARA, Jouliana Jordan; DE FREITAS CHAGAS JR, Milton. Os conceitos da inovação aberta e o desempenho de empresas brasileiras inovadoras. *Revista de Administração e Inovação*, v. 11, n. 2, p. 295-320, 2014.

STHEL, J. P. V.; LOUREIRO, R. V. *A engenharia química no contexto da indústria 4.0: estudo de caso em uma usina de etanol*. 2018. 92f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

SUNG, T. K. Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 132, n. November 2017, p. 40– 45, 2018.

TEIXEIRA, M.; GONÇALVES, L.C.; FREDERICO, O.V. et al. Polpa cítrica na alimentação de bovinos de leite. Cap.7, p. 116-131, Belo Horizonte, 2009.

TEIXEIRA, R. S.; ROSA, A. C. M. *Alternativas para gestão do bagaço de laranja*. 2016. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TOCCHINI, R. P.; NISIDA, A.L.A.C.; MARTIN, Z. J. Industrialização de polpas, sucos e néctares de frutas. Campinas: Manual Ital. 1995.

VALERIO, L.J. Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de animais de produção. *PUBVET*, Londrina, V. 1, N. 9, Ed. 9, Art. 312, 2007.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Future of Jobs Report. Swetzerland: 2018. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2018/>>. Acesso em: 1 mar. 2019.

YUNUS NEGÓCIOS SOCIAIS. Relatório de Impacto Anual - 2017. Disponível em: <https://a74601e2-91d5-485c-938d-5fb3ab3bd3a5.filesusr.com/ugd/bc8ef0_a01896709bf0449993d73afb85f095b9.pdf>. Acesso em: 14 set 2019.